

## ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ХАРВЕСТЕРОВ НА СПЛОШНЫХ РУБКАХ<sup>1</sup>

Ю.Ю.Герасимов<sup>1</sup>, В.А. Сенькин<sup>2</sup>, К. Вянтайнен<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НИИ леса Финляндии, П.Я. 68, Йоэнсуу, Финляндия. E-mail: yuri.gerasimov@metla.fi; kari.vaatainen@metla.fi.

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский лесотехнический университет, Институтский пер. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: senkinvictora@johndeere.com.

Статья поступила 01.12.2011, принята 20.12.2012, опубликована 28.12.2012

При одном и том же размере стволов производительность харвестеров на рубках главного пользования в Финляндии значительно выше, чем на Северо-Западе. Доля времени обработки ствола в эффективном машино-часе (SprocR) для каждого из харвестеров была действительно очень низкой и изменялась в широких пределах от 0,17 до 0,45 со средним значением 0,34. Харвестеры, работающие в Республике Коми, показывают лучшее соотношение, среднее значение коэффициента SprocR равно 0,35. Размер ствола имеет четкую прямую корреляцию с долей времени обработки ствола в эффективном машино-часе. Особенно это заметно с увеличением среднего размера ствола, так как доля времени обработки ствола SprocR также растет. С точки зрения выполнения операций российские лесозаготовительные компании очень нуждаются в увеличении производительности машин, так как коэффициент использования изученных харвестеров колебался от 0,40 до 0,84 со средним значением 0,60. Эти компании все еще располагают значительным потенциалом более эффективного использования машин, и возможности повышения доли времени обработки ствола для снижения затрат должны быть изучены. Производительность машин может быть увеличена путем повышения доли времени обработки ствола за счет улучшенных методов работы. Результаты исследования показали, что в некоторых лесозаготовительных компаниях рассмотренных регионов производительность харвестеров за 1 эффективный машино-час может быть удвоена. В общем, при увеличении доли времени обработки ствола до уровня стран северной Европы (0,55), производительность может быть увеличена до 16,7 м<sup>3</sup>/ч в Карелии, 17,0 м<sup>3</sup>/ч в Вологодской области, 19,6 м<sup>3</sup>/ч в Коми и 18,5 м<sup>3</sup>/ч, в целом, для рассмотренных регионов. При выполнении этого условия, средняя производительность обычных харвестеров в этих регионах сможет достичь уровня Финляндии, 18 м<sup>3</sup>/ч. Экономический эффект может достичь 2,5 €/м<sup>3</sup>.

*Ключевые слова:* сортиментная технология; сосна; ель; береза; осина; Россия

## PRODUCTIVITY OF HARVESTERS IN CLEAR CUTTINGS

Y.Y. Gerasimov<sup>1</sup>, V.A. Senkin<sup>2</sup>, K. Väättäinen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Finnish Forest Research Institute, P.O. Box 68, Joensuu, Finland. E-mail: yuri.gerasimov@metla.fi; kari.vaatainen@metla.fi.

<sup>2</sup>Saint-Petersburg Forest Technical University, Institutsky Per. 5, St. Petersburg, Russia, E-mail: senkinvictora@johndeere.com.

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

Harvester productivity on final fellings in Finland seems to be remarkably higher than in the northern European part of Russia (NEPR) with the same stem size. There are a number of possible explanations for the differences between Russia and Finland. Earlier studies have shown that operator skills have a remarkable influence on productivity in harvesting operations. Moreover, the lower productivity in Russia is also the result of divergent distributions of stem volume and stem quality in Russia and Finland because of different forest management traditions in these countries. Stands in Finland are more or less regularly managed and thinned, while in Russia stands are rarely managed and thinned before final felling. These distributions are an important factor associated with harvesting productivity. The proportion of stem processing machine hours in the productive machine hours (SprocR) for the studied harvesters was indeed very low and changed considerably from 0.17 to 0.45. The set of harvesters in Komi shows the best proportion, with an average ratio SprocR of 0.35. In

<sup>1</sup> В статье представлены результаты исследования, опубликованного ранее в отчете по международному проекту «Лесозаготовки и логистика» [1].

comparison, in Nordic countries stem processing time typically accounts for 25% in first thinnings and up to 55% in the final fellings of productive machine time. Stem size has a distinct direct correlation on the proportion of stem processing machine hours in productive machine hours. In particular, while the average stem size increases, the stem processing ratio SprocR increases also. From an operational viewpoint, Russian harvesting companies very much need to improve machine performance because the average utilisation rates of the studied harvesters varied from 0.40 to 0.84 with an average value of 0.60. They still have great potential in machinery utilisation, and the possibility of increasing the share of stem processing machine hours in order to reduce harvesting cost should be explored. A machine's hourly productivity can be boosted by increasing this percentage using improved working techniques. Based on both the results of this study and those of earlier studies, it seems that harvester productivity per productive machine hour (PMH) could be even doubled in some harvesting companies in NEPR. In its entirety, productivity could be increased up to 16.7 m<sup>3</sup> u.b./PMH in Karelia, 17.0 m<sup>3</sup> u.b./PMH in Vologda, 19.6 m<sup>3</sup> u.b./PMH in Komi, and 18.5 m<sup>3</sup> u.b./PMH in NEPR in general if the stem processing time ratio SprocR could be increased up to the Nordic countries' level of 0.55. Under this condition, the average productivity of conventional harvesters in NEPR reaches the Finnish level of 18 m<sup>3</sup> u.b./PMH. The economic effect might be up to 2.5 €/m<sup>3</sup>.

*Keywords:* cut-to-length method; harvester; pine; spruce; birch; aspen; Russia

## Введение

Машинизированная система для заготовки древесины с использованием сортиментного метода и однозахватного харвестера стала широко использоваться лесной промышленностью в лесах умеренной и бореальной зон, особенно в северных странах. Сегодня, почти 100% лесозаготовок в Швеции и Финляндии выполняются с использованием системы харвестер-форвардер [2,3]. В России значительный прогресс был сделан в последнюю декаду в применении сортиментного метода и его механизации, особенно на севере Европейской части России. Лесозаготовительные системы для сортиментного метода по сравнению с системами для хлыстового метода и заготовки деревьями снижают потребности в рабочей силе, улучшают безопасность труда и уменьшают риск для окружающей среды и размеры погрузочных площадок [4,5]. На практике машинизированная система для заготовки древесины деревьями, состоящая из валочно-пакетирующей машины, трелевочного трактора и сучкорезной машины или процессора, имеет большую производительность по сравнению с системой для сортиментной заготовки на основе однозахватного харвестера и форвардера, так как каждая операция осуществляется специализированной машиной [6-9]. Проведенные исследования [6-8] показали, что затраты при применении сортиментного метода лесозаготовки на 8-33% больше по сравнению с затратами на заготовку деревьями. Однако на севере Европейской части России высокая производительность при заготовке деревьями не означает меньшие затраты по сравнению с сортиментной заготовкой [9]. К тому же, следует иметь в виду, что большинство исследований проводились ранее, в условиях, когда сортиментный метод был новым, только что введенным лесозаготовительным способом, а заготовка деревьями была широко используемым методом. Более того, эти исследования проводились на делянках, на которых древостой не был пройден рубками ухода. Принимая во внимание то, что машинизированный сортиментный метод еще только осваивается в России, тогда как заготовка деревьями была разработана во времена Советского Союза и широко использовалась, дальнейшее улучшение производительности систем для сортиментного метода повысит экономическую эффективность лесозаготовительных операций в России. В настоящее время доля заготовки деревьями в общем объеме рубок составляет приблизительно 50%, доля сортиментного метода 30% и на хлыстовой метод заготовки приходится 20%. Доля сортиментной заготовки быстро увеличивалась в последнее время. В некоторых регионах России, например, в Карелии и Ленинградской области, уже сейчас более 70% рубок осуществляется с применением системы харвестер-форвардер [10].

Производительность харвестера зависит от многих факторов, таких, как состав древостоя, участок, характер поверхности, рельеф, мотивация и навыки оператора, характер крон, планирование работ, размер деревьев, число видов сортиментов, количество деревьев на участке, густота подроста и конструктивные особенности машин [11-19]. В особенности,

производительность харвестера тесно связана с объемом ствола и породным составом древостоя [4,14,16,19,20]. Существующие модели для определения производительности однозахватных харвестеров [8,11,12,21-27] подходят, главным образом, для бореальных лесов, пройденных рубками ухода, лесных плантаций и хвойных пород. Всего лишь несколько исследований, в которых изучалась производительность однозахватных харвестеров, были выполнены в лесах России, не пройденных рубками ухода [9]. Целью данного исследования было разработать модель производительности харвестера как функцию от породного состава и среднего объема хлыста. С помощью такой модели потенциальные пользователи технологий для сортиментной заготовки могут определить собственные затраты на заготовку в различных условиях и оценить конкурентоспособность по сравнению с традиционными системами для заготовки деревьями. Результаты этого исследования смогут облегчить адаптацию сортиментного метода к условиям непрореженных смешанных лесов, особенно в тех компаниях, где изношенная отечественная техника и дешевая рабочая сила не стимулируют инвестиции в специально спроектированные лесные машины.

## Данные и методы

Полевые исследования [28] были проведены в типичных условиях севера Европейской части России в 2008-2009 годах (Рис. 1).



**Рис. 1. Расположение мест полевых исследований на карте северной части Европейской России.**

Среднеразмерные колесные харвестеры John Deere (JD) 1270D с двигателем мощностью 160 кВт и рабочим весом 17 тонн были использованы в ходе полевых исследований. Все изученные харвестеры были оборудованы харвестерными головками JD 758 HD. В полевых условиях были изучены 38 харвестеров в 2008-2009 годах, из которых 9 работали в Карелии, 8 – в Вологодской и Архангельской областях, 16 – в Республике Коми, 2 – в Ленинградской и Тверской области и 1 – в Кировской области. Объем полученной древесины составил 1,4 млн м<sup>3</sup>. Харвестерами было заготовлено 4,3 миллиона деревьев. Вырубленные участки леса до этого не были пройдены рубками. Типичный исследовательский участок представлял собой

разновозрастный смешанный древостой. Породный состав такой лесосеки включал ель (48%), сосну (19%), березу (22%) и осину (11%). Средний объем ствола на исследуемых лесосеках был между 0,13 и 0,53 м<sup>3</sup>, среднее значение 0,31 м<sup>3</sup>. Общий объем ликвидной древесины на участках был от 100 до 300 м<sup>3</sup>/га. Средний запас в изученных регионах был 152 м<sup>3</sup>, а среднее количество деревьев – 490 на гектар. Типичные почвы – глины, суглинки и супеси. Распределение объемов стволов и пород по регионам представлено в таблице 1.

**Таблица 1. Распределение заготовленных деревьев по породам (*P*) и среднему объему ствола (*v*).**

Регион	Заготовленный объем, 1000 м <sup>3</sup>	Средний объем ствола, м <sup>3</sup>	Сосна		Ель		Береза		Осина	
			<i>P</i> , %	<i>v</i> , м <sup>3</sup>	<i>P</i> , %	<i>v</i> , м <sup>3</sup>	<i>P</i> , %	<i>v</i> , м <sup>3</sup>	<i>P</i> , %	<i>v</i> , м <sup>3</sup>
Карелия	236	0,28	40	0,41	45	0,22	11	0,30	4	0,42
Вологодская обл.	298	0,31	6	0,58	55	0,27	28	0,34	11	0,46
Коми	685	0,32	16	0,33	50	0,30	22	0,32	12	0,49
Ленинградская обл.	52	0,34	5	0,42	37	0,25	27	0,38	31	0,45
Тверская обл.	70	0,38	43	0,41	28	0,32	16	0,36	13	0,42
Кировская обл.	30	0,38	7	0,75	62	0,32	27	0,48	4	0,88
Регионы в общем	1371	0,31	19	0,38	48	0,27	22	0,33	11	0,47

Харвестеры работали 7 дней в неделю, 24 часа в сутки, разделенных на дневную и ночную смены. Число разных типов заготовленных сортиментов было от 8 до 10, включая пиловочник и балансы из ели, сосны и березы, тонкомерный еловый/сосновый пиловочник, осиновые балансы и дровяную древесину [29].

Производительность каждого харвестера автоматически замерялась при выполнении обычных операций на лесосеках. Для сбора данных о производительности использовалась программа TimberLink 2.0 – новая версия системы мониторинга производительности и состояния машин JD. Собранные данные о производительности были перенесены с харвестеров для камеральной обработки с помощью накопителя на флэш-памяти. Процедура сбора данных состояла из получения предварительной информации, такой, как дата, время работы, время обработки, время движения, объем ствола, древесные породы и число деревьев, производительность обработки, расход топлива и некоторую дополнительную информацию. Дополнительная информация включала имя подрядчика, тип машины и харвестерной головки, а также местонахождение.

Лесозаготовительные операции изученных харвестеров были разделены на два отдельных временных элемента, которые были записаны с помощью системы TimberLink [30]. Один из временных элементов охватывал операции по выбору ствола, а второй временной элемент объединял операции по обработке ствола (обрезка сучьев и раскряжевка). Операции выбора ствола включают в себя все действия от заезда машины на делянку и движения манипулятором до начала спиливания ствола. Система TimberLink записывала время каждого действия в пределах операции по выбору ствола: время передвижения машины, время движения манипулятора и другое время.

Операции обработки ствола состоят из спиливания ствола, переноса ствола, обрезки сучьев и раскряжевки. TimberLink отмечал время, затраченное на каждую из операций по обработке ствола, при обработке стволов различных размеров.

Измерительная система харвестерных головок была использована для измерения диаметров секций и длин каждого дерева, для определения объемов стволов. Производительность машин была определена в м<sup>3</sup> древесины заготовленной за 1 эффективный машино-час (*PMH*) и за 1 машино-час обработки ствола (*SprocMH*).

Эффективный машино-час *PMH* – это время выполнения машиной лесозаготовительных операций за вычетом задержек (технические поломки и прочие задержки). Таким образом, это время, затраченное машиной на выполнение своей главной задачи, а также время, затраченное

на сопутствующие задачи. Короткие задержки, которые не могут быть легко отделены от производственной деятельности, были включены в эффективное время.

Машино-час обработки ствола (*SprocMH*) – это время, в течение которого машина выполняет операции валки и обработки ствола (спиливание ствола, обрезка сучьев, раскряжевка и движения харвестерной головкой). Отношение машино-часа обработки ствола (*SprocMH*) к эффективному машино-часу (*PMH*) было выражено через коэффициент времени обработки ствола *SprocR*. Все данные полевых исследований были отфильтрованы в разные категории с использованием программы Excel, а кривые производительности были проанализированы с помощью SPSS 15.0 для Windows.

## Результаты

Коэффициент времени обработки ствола (*SprocR*) для каждого из харвестеров изменялся в широких пределах от 0,17 до 0,45 со средним значением 0,34 (Таблица 2).

**Таблица 2. Распределение *SprocR* по регионам.**

Регион	Коэффициент времени обработки ствола <i>SprocR</i>		
	Мин.	Макс.	Среднее
Республика Карелия	0,23	0,43	0,30
Вологодская область	0,19	0,45	0,39
Республика Коми	0,30	0,41	0,35
Тверская, Ленинградская и Кировская области	0,17	0,34	0,25
Регионы в общем	0,17	0,45	0,34

В Тверской, Ленинградской и Кировской областях среднее значение коэффициента времени обработки ствола *SprocR* было на 38% меньше, чем в Вологодской области.

Производительность обработки ствола разными харвестерами была от 15 до 60 м<sup>3</sup> за один *SprocMH* (Рис. 2).

Таблица 3 показывает соотношение между средней производительностью машин, м<sup>3</sup>/*SprocMH* и средним объемом ствола для каждого из харвестеров по регионам.

Было обнаружено, что размеры и породы деревьев являются наиболее значимыми факторами, влияющими на производительность.

Кривая производительности, основанная на данных, собранных со всех харвестеров, включенных в это исследование, была построена, используя степенную регрессионную модель со значением коэффициента детерминации 0,9:

$$P_1 = b_0 \times v^{b_1} \quad (1)$$

где,  $P_1$  – производительность харвестера за машино-час обработки ствола (м<sup>3</sup>/*SprocMH*),  $v$  – объем ствола (м<sup>3</sup>),  $b_0$  и  $b_1$  – переменные регрессионной модели, представлены в таблице 4 для каждой древесной породы и региона.

Рис. 3 показывает зависимость между объемом ствола и производительностью (ось ординат) для различных древесных пород и регионов северной части Европейской России.

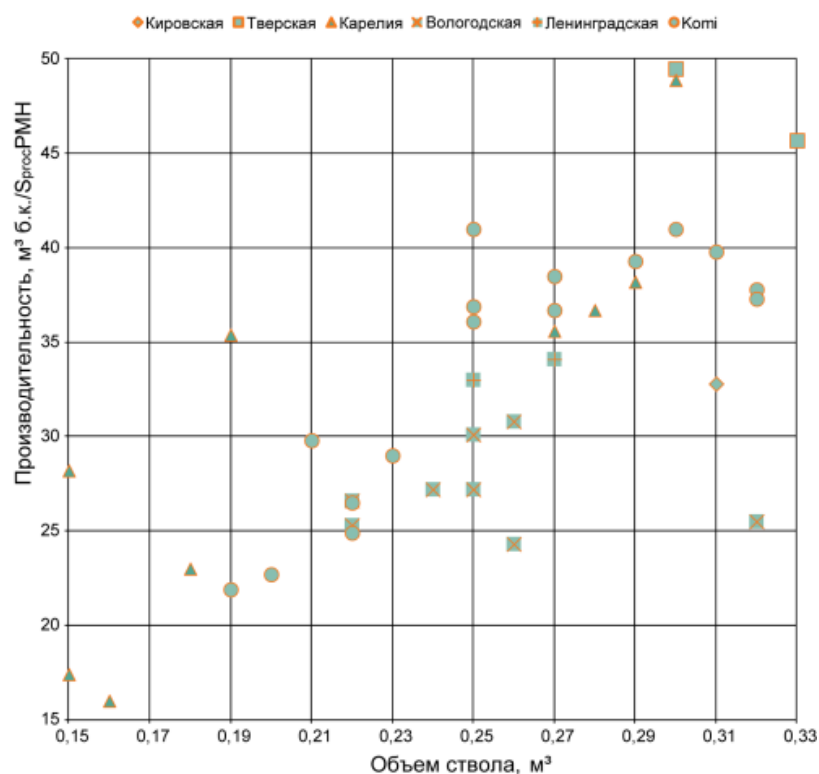


Рис. 2. Отмеченные значения соотношения между объемом ствола и производительностью за  $S_{proc}МН$  для исследованных харвестеров.

Таблица 3. Средняя производительность машин,  $m^3/S_{proc}МН$  и средний объем ствола по ключевым регионам северной части Европейской России.

<i>i</i>	Группа ствольных объемов, $m^3$ б. к.	Средняя производительность харвестера, $m^3/S_{proc}МН$			
		Карелия	Вологодская обл.	Коми	Регионы в общем
1	2,71–3,20	111,6	114,0	119,8	118,6
2	2,21–2,70	109,5	102,3	114,2	111,1
3	1,71–2,20	101,4	95,0	109,1	104,9
4	1,21–1,70	95,1	83,6	94,5	92,7
5	0,81–1,20	75,0	71,2	78,9	77,1
6	0,51–0,80	59,4	56,5	62,9	61,5
7	0,31–0,50	43,8	42,1	47,4	46,1
8	0,16–0,30	29,6	28,5	32,7	31,3
9	$\leq 0,15$	13,7	13,8	15,8	14,9

Таблица 4. Переменные степенной регрессионной модели по древесным породам и регионам.

<i>П</i>	Порода	Переменные степенной регрессионной модели							
		Карелия		Вологодская обл.		Коми		Регионы в общем	
		$b_0$	$b_1$	$b_0$	$b_1$	$b_0$	$b_1$	$b_0$	$b_1$
1	Сосна	69,638	0,595	66,068	0,565	74,223	0,575	71,844	0,582
2	Ель	65,959	0,627	63,486	0,574	72,260	0,556	69,061	0,576
3	Береза	69,248	0,655	59,091	0,559	72,229	0,557	68,451	0,581
4	Осина	71,895	0,520	72,980	0,579	75,089	0,556	74,719	0,552

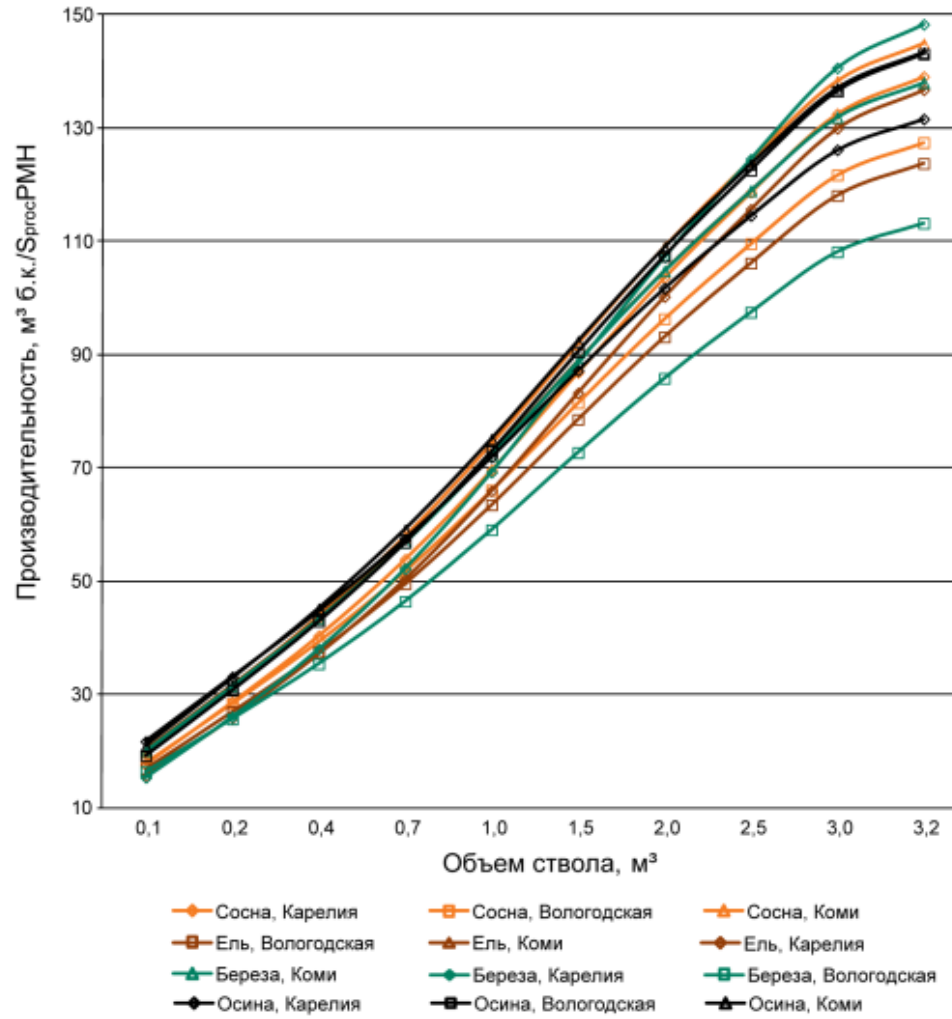


Рис. 3. Зависимость между объемом ствола и производительностью ( $\text{м}^3/\text{S}_{\text{проеРМН}}$ ) для различных древесных пород и регионов.

Таблица 5 показывает распределение заготовленных деревьев по объемам стволов и породам деревьев.

Таблица 5. Распределение заготовленных деревьев по объемам стволов и породам деревьев для всех рассмотренных регионов.

$i$	Группа ствольных объемов, $\text{м}^3$	Число заготовленных деревьев	Доля заготовленных деревьев в зависимости от объема, %			
			Сосна	Ель	Береза	Осина
1	2,71–3,20	1 585	0,04	0,06	0,01	0,04
2	2,21–2,70	7 016	0,16	0,25	0,07	0,12
3	1,71–2,20	23 282	0,53	0,79	0,27	0,34
4	1,21–1,70	73 843	1,70	2,34	1,05	1,47
5	0,81–1,20	200 888	4,62	6,26	3,37	5,15
6	0,51–0,80	457 038	10,50	14,18	8,60	12,12
7	0,31–0,50	699 412	16,07	19,53	14,60	17,87
8	0,16–0,30	1019 159	23,42	23,53	23,10	25,51
9	$\leq 0,15$	1868 974	42,95	33,00	48,92	37,35
	Всего	4351 197	100,0	100,0	100,0	100,0



Производительность однозахватного харвестера, выраженная в м<sup>3</sup> за эффективный машино-час (*PMH*) в условиях севера Европейской части России, может быть оценена с помощью формулы, представленной ниже, и переменных, приведенных в таблицах 3-6:

$$P_2 = S_{proc}R \times \sum_s P_s b_0 \sum_i D_i v_i^{b_1} \quad (2)$$

где,  $P_2$  – производительность харвестера за эффективный машино-час (м<sup>3</sup>/PMH),  $S_{proc}R$  – коэффициент времени обработки ствола,  $v$  – объем ствола (м<sup>3</sup>),  $s$  – древесная порода (1=сосна, 2=ель, 3=береза, 4=осина),  $P_s$  – объемная доля каждой древесной породы в общем объеме заготовленной древесины,  $i$  – номер группы ствольных объемов ( $i = 1-9$  в рассмотренных регионах),  $D_i$  – доля каждой группы ствольных объемов в общем объеме заготовки  $b_0$  и  $b_1$  – переменные для каждой древесной породы и региона из таблицы 6.

В Таблице 6 даны результаты расчетов производительности харвестеров для Республики Карелия, Вологодской области, Республики Коми и для рассмотренных регионов в целом. Значение коэффициента времени обработки ствола ( $S_{proc}R$ ) было принято равным 0,25–0,55 с шагом увеличения, равном 0,05. Средняя производительность харвестера за *PMH* ( $R = 0,35$ ) в Республике Карелия равна 10,6 м<sup>3</sup>/ч (средний объем ствола  $v = 0,28$  м<sup>3</sup>), в Вологодской области равна 10,8 м<sup>3</sup>/ч ( $v = 0,31$  м<sup>3</sup>), в Республике Коми равна 12,5 м<sup>3</sup>/ч ( $v = 0,32$  м<sup>3</sup>) и для всего севера Европейской части России производительность равна 11,7 м<sup>3</sup>/ч ( $v = 0,31$  м<sup>3</sup>). Сравнивая при одной и той же величине коэффициента  $S_{proc}R$  значения производительности харвестеров, полученные для рассмотренных регионов с учетом среднего размера ствола и древесных пород, больших различий в производительности не было выявлено.

## Обсуждение и заключение

Это исследование основывалось на большом количестве данных. Данные о производительности были собраны для 38 харвестеров в 6 наиболее лесистых регионах Европейской части России. В этом исследовании были использованные данные о 4,3 миллионах заготовленных деревьев и 1,4 миллионах м<sup>3</sup> обработанной древесины, что составляло 11% от общей годовой заготовки леса в Республике Коми (0,69 миллиона м<sup>3</sup>), 4 % в Республике Карелия (0,24 миллиона м<sup>3</sup>) и 4 % в Вологодской области (0,30 миллиона м<sup>3</sup>).

В общем, производительность за *PMH* различалась в широких пределах между изученными харвестерами (от 4,3 до 14,9 м<sup>3</sup>, среднее значение 10,7 м<sup>3</sup>). Наименьшая средняя производительность для рассмотренных регионов была отмечена в Республике Карелия, 9,6 м<sup>3</sup>/PMH, а наибольшая – в Республике Коми 11,6 м<sup>3</sup>/PMH. Средние объемы ствола были 0,28 и 0,32 м<sup>3</sup>, соответственно. Производительность обработки ствола за 1 *SprocMH* также широко менялась между изученными харвестерами, от 16,0 до 49,5 м<sup>3</sup>, среднее значение 32,4 м<sup>3</sup>. Наименьшая производительность обработки ствола в рассмотренных регионах была отмечена в Вологодской области, 27,1 м<sup>3</sup>/SprocMH, а наибольшая – в Республике Коми, 33,7 м<sup>3</sup>/SprocMH.

Производительность харвестеров не отличалась существенно от данных, собранных в российских лесозаготовительных компаниях [9,31]. Однако, производительность харвестеров в Финляндии значительно выше, чем в рассмотренных регионах, не смотря на такой же размер стволов. По данным [32], средняя производительность обычных однозахватных харвестеров в финских лесозаготовительных компаниях для среднего объема 0,3 м<sup>3</sup> была около 18 м<sup>3</sup>. *PMH* для сплошных рубок (больше на 7 м<sup>3</sup>/PMH). Объемная доля коры в общем объеме ствола с корой была оценена в 10%, это значение было использовано для перевода финских данных о производительности в сравнимые величины (из м<sup>3</sup> в коре в м<sup>3</sup> без коры).

Существует несколько возможных объяснений выявленных различий между производительностью харвестеров в России и Финляндии. Предыдущие исследования показали, что навыки оператора имеют значительное влияние на производительность лесозаготовительных операций [9,21,33,34]. Более того, меньшая производительность в России – это следствие отличий от Финляндии в размерах стволов и породного состава, которые в свою очередь являются результатами разных подходов к ведению лесного хозяйства в этих



странах. Насаждения в Финляндии более или менее регулярно подвергаются уходу, тогда как в России древостой редко проходит рубками ухода перед рубками главного пользования. Это является важным фактором, связанным с производительностью лесозаготовительных операций.

**Таблица 6. Рассчитанная производительность,  $m^3/PMH$ , для возможных значений коэффициента времени обработки ствола ( $S_{proc}R$ ) по регионам и древесным породам.**

Коэффициент $S_{proc}R$	Республика Карелия					Вологодская область					Республика Коми					Регионы в целом				
	С	Е	Б	О	Ср	С	Е	Б	О	Ср	С	Е	Б	О	Ср	С	Е	Б	О	Ср
0,25	9,5	5,8	7,1	10,5	7,6	11,3	6,8	7,5	10,6	7,7	8,9	8,4	8,7	11,2	8,9	9,3	7,5	8,3	11,0	8,4
0,3	11,3	7,0	8,5	12,6	9,1	13,5	8,2	9,1	12,7	9,2	10,7	10,1	10,5	13,4	10,7	11,2	9,0	9,9	13,2	10,1
0,35	13,2	8,2	10,0	14,7	10,6	15,8	9,5	10,6	14,8	10,8	12,4	11,8	12,2	15,7	12,5	13,1	10,5	11,6	15,4	11,7
0,4	15,1	9,3	11,4	16,8	12,2	18,0	10,9	12,1	16,9	12,3	14,2	13,5	14,0	17,9	14,3	14,9	12,0	13,2	17,6	13,4
0,45	17,0	10,5	12,8	18,9	13,7	20,3	12,3	13,6	19,0	13,9	16,0	15,2	15,7	20,2	16,0	16,8	13,5	14,9	19,8	15,1
0,5	18,9	11,6	14,2	21,0	15,2	22,5	13,6	15,1	21,1	15,4	17,8	16,9	17,5	22,4	17,8	18,7	15,0	16,5	22,0	16,8
0,55	20,8	12,8	15,7	23,1	16,7	24,8	15,0	16,6	23,3	17,0	19,5	18,6	19,2	24,6	19,6	20,5	16,5	18,2	24,2	18,5

*С-сосна, Е-ель, Б-береза, О-осина, Ср-средний породный состав в регионе*

Соотношение времени, затраченного на обработку стволов, к эффективному машино-часу ( $S_{proc}R$ ) для изученных харвестеров было очень низким, и его значение менялось в широких пределах от 0,17 до 0,45. Харвестеры, работающие в Республике Коми, показали лучшее соотношение, среднее значение  $S_{proc}R$  было 0,35. Для сравнения, в странах Северной Европы доля время обработки ствола в эффективном машино-часе составляет от 25% для рубок прореживания и до 55% для сплошных рубок [21,23,33]. Размер ствола имеет прямое влияние на долю времени обработки ствола ( $S_{proc}R$ ) в эффективном машино-часе. Особенно это заметно с увеличением среднего размера ствола, так как доля времени обработки ствола  $S_{proc}R$  также растет. С точки зрения выполнения операций, российские лесозаготовительные компании очень нуждаются в повышении производительности машин, так как коэффициент использования изученных харвестеров колебался от 0,40 до 0,84 со средним значением 0,60. Эти компании все еще располагают значительным потенциалом более эффективного использования машин, и возможности повышения доли времени обработки ствола для снижения затрат должны быть изучены. Производительность машин может быть увеличена путем повышения доли времени обработки ствола за счет усовершенствованных методов работы. Результаты этого исследования и исследований, проведенных ранее [9], показали, что в некоторых лесозаготовительных компаниях рассмотренных регионов производительность харвестеров за  $PMH$  может быть удвоена. В общем, при увеличении доли времени обработки ствола до уровня стран северной Европы (0,55), производительность может быть увеличена до 16,7  $m^3/PMH$  в Карелии, 17,0  $m^3/PMH$  в Вологодской области, 19,6  $m^3/PMH$  в Коми и 18,5  $m^3/PMH$  в целом для рассмотренных регионов. При выполнении этого условия, средняя производительность обычных харвестеров в этих регионах сможет достичь уровня Финляндии Швеции. Существующая модель производительности харвестеров для севера Европейской части России подразумевает, что последующие исследования могут быть направлены на улучшение разработанных прогнозирующих моделей, что даст возможность прогнозировать производительность системы харвестер-форвардер для разных насаждений и условий работы. Различные сценарии могут быть смоделированы для выбора наиболее экономически эффективного использования машин в конкретных условиях в России и других странах бывшего СССР. Потенциальные пользователи харвестеров получают возможность рассчитывать собственные затраты для разных условий и оценивать конкурентоспособность альтернативных вариантов. Предложенные модели призваны также облегчить адаптацию полностью механизированного сортиментного метода к условиям лесов, не пройденных рубками ухода, особенно в тех компаниях, в которых по-прежнему используется изношенная отечественная техника и в которых дешевая рабочая сила препятствует инвестициям в специализированные лесные машины.

## Литература

1. Лесозаготовки и логистика в России – в фокусе научные исследования и бизнес-возможности / В. Гольцев, Т. Толонен, В. С. Сюнёв, Б. Далин, Ю. Герасимов, С. Карвинен // Труды НИИ леса Финляндии. – Хельсинки, 2012. – Вып. 221. – 159 с.
2. Statistical Year Book of Finnish Forestry. – Helsinki: Finnish Forest Research Institute, 2009.
3. Metsäkonesektorin nykytila ja tulevaisuus / A. Asiainen, L. Leskinen, K. Pasanen, K. Väättäinen, A. Anttila, T. Tahvanainen // Metlan työraportteja. – Helsinki, 2009. – Вып. 125. – 48 с.
4. Gellerstedt S., Dahlin B. Cut-to-length in the next decade // Journal of Forest Engineering. – 1999. – № 10(2). – С. 17–25.
5. Gerasimov Y. Cut-to-length method in the wood procurement of Russia: SWOT analysis // Silva Carelica. – 2004. – № 45. – С. 338–344.
6. Gingras J. F. 1994. A comparison of full-tree versus cut-to-length systems in the Manitoba model forest. – Quebec: Forest Eng. Inst. of Canada, 1994. – 16 с.
7. Yaoxiang L., Wang J., Miller G., McNeel J. Production economics of harvesting small diameter hardwood stands in central Appalachia // Forest Products Journal. – 2006. – № 56(3). – С. 81-86.
8. Adebayo A. B., Han H. S., Johnson L. Productivity and cost of cut-to-length and whole-tree harvesting in a mixed-conifer stand // Forest Product Journal. – 2007. – № 57(5). – С. 59–69.
9. 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.
10. Gerasimov Y., Sokolov A. GIS-based decision-support program for planning and analyzing short-wood transport in Russia // Croatian Journal of Forest Engineering. – 2008. – № 29(2). – С. 163-175.
11. Jiroušek R., Klvač R., Skoupy A. Productivity and costs of the mechanised cut-to-length wood harvesting system in clear-felling operations // Journal of Forest Science. – 2007. – № 53(10). – С. 476–482.
12. Spinelli R., Owende P. M. O., Ward S. Productivity and cost of CTL harvesting of *Eucalyptus globulus* stands using excavator-based harvesters // Forest Product Journal. – 2002. – № 52. – С. 67–77.
13. Ward S. M. Productivity and cost of CTL harvesting of *eucalyptus globulus* stands using excavator-based harvesters // Forest Products Journal. – 2002. – № 52(1). – С. 67–77.
14. Bulley B. Effect of tree size and stand density on harvester and forwarder productivity in commercial thinning // FERIC Technical Note. – Pointe Claire, 1999. – Вып. TN-292.
15. Kellog L. D., Bettinger P. Thinning productivity and cost for mechanized cut-to-length system in the Northwest Pacific coast region of the USA // Journal of Forest Engineering. – 1994. – № 5(2). – С. 43-52.
16. Makkonen I. Silver Streak single-grip harvester in Nova Scotia // FERRIC Field Note. – Pointe Claire, 1991. – Вып. TR-94. – С. 18.
17. Tufts R.A. Productivity and cost of the Ponsse 15-series, cut-to-length harvesting system in southern pine plantations // Forest Products Journal. – 1997. – № 47(10). – С. 39-46.
18. Uusitalo J. Metsäteknologian perusteet. – Joensuu: FEG, 2004. – 228 с.
19. Richardson R. Evaluation of five processors and harvesters // FERRIC Technical Report. – Pointe Claire, 1989. – Вып. TR-94. – 18 с.
20. Lageson H. 1997. Effects of thinning type on the harvester productivity and on the residual stand // Journal of Forest Engineering. – 1997. – № 8(2). – С. 7–13.
21. Väättäinen K., Ovaskainen H., Ranta P., Ala-Fossi A. Hakkuukoneenkuljettajan hiljaisen tiedon merkitys hakkuutulokseen työpistetasolla // Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja. – Helsinki, 2005. – Вып. 937. – 90 с.
22. Kuitto P. J., Keskinen S., Lindroos J., Oijala T., Rajamäki J., Räsänen T., Terävä J. Puutavaran koneellinen hakku ja metsäkuljetus // Metsätehon tiedotus. – Helsinki, 1994. – Вып. 410. – 38 с.
23. Nurminen T., Korpinen H., Uusitalo J. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system // Silva Fennica. – 2006. – № 40(2). – С. 335–363.

24. Ryynänen S., Rönkkö E. Harvennusharvestereiden tuottavuus ja kustannukset // Työtehoseuran julkaisuja. – Helsinki, 2001. – Вып. 381. – 67 с.
25. McNeel JF., Rutherford D. Modelling harvester-forwarder system performance in a selection harvest // Journal of Forest Engineering. – 1994. – № 6(1). – С. 7–14.
26. Puttock D., Spinelli R., Hartsough B.R. Operational trials of cut-to-length harvesting of poplar in a mixed wood stand // Journal of Forest Engineering. – 2005. – № 16(2). – С. 17–25.
27. Kärhä K., Rönkkö E., Gumse S. Productivity and cutting costs of thinning harvesters // Journal of Forest Engineering. – 2004. – № 15(2). – С. 43–56.
28. Gerasimov Y., Senkin V., Väätäinen K. Productivity of single-grip harvesters in clear-cutting operations in the northern European part of Russia // European Journal of Forest Research. – 2012. – № 131(3). – С. 647–654.
29. Gerasimov Y., Seliverstov A. Industrial round-wood losses associated with the harvesting systems in Russia // Croatian Journal of Forest Engineering. – 2010. – № 31(2). – С. 111–126.
30. TimberLink. Quick guide. – John Deere, 2009. – 16 с.
31. Расчет эксплуатационных затрат лесосечных машин / Ю. Ю. Герасимов, К. Н. Сибиряков, С. Л. Мошков, Э. Вяльккю, С. Карвинен. – Йонсуу: НИИ леса Финляндии, 2009. – 44 с.
32. Korjureiden ja korjuuketjun simulointi ainespuun korjuussa / K. Väätäinen, H. Liiri, A. Asikainen, L. Sikanen, P. Jylhä, K. Rieppo, Y. Nuutinen, A. Ala-Fossi // Metlan työraportteja. – Helsinki, 2007. – Вып. 48. – 78 с.
33. Kariniemi A. Kuljettajakeskeinen hakkuukonetyön malli – työn suorituksen kognitiivinen tarkastelu // Helsingin yliopiston metsävarojen käytön latoksen julkaisuja. – Helsinki, 2006. – Вып. 38. – 126 с.
34. Sirén M. Hakkuukonetyö, sen korjuujälki ja puustovaurioiden ennustaminen. Väitöskirja // Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja. – Helsinki, 1998. – Вып. 694. – 179 с.

## References

1. Adebayo, AB., Han, HS., Johnson, L., 2007: Productivity and cost of cut-to-length and whole-tree harvesting in a mixed-conifer stand. Forest Product Journal 57(5): 59–69.
2. Finnish Forest Research Institute, 2009: Statistical Yearbook of Finnish Forestry.
3. Asikainen A., Leskinen L., Pasanen, K., Väätäinen, K., Anttila, A., Tahvanainen, T. 2009: Metsäkonesektorin nykytila ja tulevaisuus. Metlan työraportteja 125, 48 p.
4. Gellerstedt, S, Dahlin, B., 1999: Cut-to-length in the next decade. Journal of Forest Engineering 10(2): 17–25.
5. Gerasimov, Y., 2004: Cut-to-length method in the wood procurement of Russia: SWOT analysis. Proc NSR Conf Forest Operations 2004. Silva Carelica 45: 338–344.
6. Gingras, JF., 1994: A comparison of full-tree versus cut-to-length systems in the Manitoba model forest. SR-92. Forest Eng. Inst. of Canada, Pointe-Claire, Quebec, Canada, 16 p.
7. Adebayo, AB., Han, HS., Johnson, L., 2007: Productivity and cost of cut-to-length and whole-tree harvesting in a mixed-conifer stand. Forest Product Journal 57(5): 59–69.
8. Yaoxiang, L., Wang, J., Miller, G., McNeel, J., 2006: Production economics of harvesting small diameter hardwood stands in central Appalachia. Forest Products Journal 56(3): 81–86.
9. Syuney, VS., Sokolov, AP., Konovalov, AP., Katarov, VK., Seliverstov, AA., Gerasimov, YY., Karvinen, S., Valkky, E., 2009: Comparison of wood harvesting methods in logging companies of the Republic of Karelia. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 120, 117 p.
10. Gerasimov, Y., Sokolov, A., 2008: GIS-based decision-support program for planning and analyzing short-wood transport in Russia. Croatian Journal of Forest Engineering 29(2): 163–175.
11. Jiroušek, R., Klvač, R., Skoupy, A., 2007: Productivity and costs of the mechanised cut-to-length wood harvesting system in clear-felling operations. Journal of Forest Science 53(10): 476–482.
12. Spinelli, R., Owende, PMO., Ward, S., 2002: Productivity and cost of CTL harvesting of *Eucalyptus globulus* stands using excavator-based harvesters. Forest Product Journal 52: 67–77.
13. Ward, SM., 2002: Productivity and cost of CTL harvesting of *Eucalyptus globulus* stands using excavator-based harvesters. Forest Products Journal 52(1): 67–77.

14. Bulley, B., 1999: Effect of tree size and stand density on harvester and forwarder productivity in commercial thinning. FERIC Technical Note TN-292, July 1999.
15. Kellog, LD, Bettinger, P., 1994: Thinning productivity and cost for mechanized cut-to-length system in the Northwest Pacific coast region of the USA. *Journal of Forest Engineering* 5(2): 43–52.
16. Makkonen, I., 1991: Silver Streak single-grip harvester in Nova Scotia. FERRIC, Pointe Claire, Que. Field Note No.TR-94: 18.
17. Tufts, RA., 1997: Productivity and cost of the Ponsse 15-series, cut-to-length harvesting system in southern pine plantations. *Forest Products Journal* 47(10): 39–46.
18. Uusitalo, J., 2004: Metsäteknologian perusteet. FEG, Joensuu, 228 p.
19. Richardson, R., 1989: Evaluation of five processors and harvesters. Forestry Engineering Research Institute of Canada. Pointe Claire, PQ. Technical Report No. TR-94: 18.
20. Lageson, H., 1997: Effects of thinning type on the harvester productivity and on the residual stand. *Journal of Forest Engineering* 8(2): 7–13.
21. Väätäinen, K., Ovaskainen, H., Ranta, P., Ala-Fossi, A., 2005: Hakkuukoneenkuljettajan hiljaisen tiedon merkitys hakkuutulokseen työpistetasolla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 937, 90 p.
22. Kuitto, PJ., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T., Terävä, J., 1994: Puutavaran koneellinen hakku ja metsäkuljetus. *Metsätehon tiedotus* 410, 38 p.
23. Nurminen, T., Korpunen, H., Uusitalo, J., 2006: Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. *Silva Fennica* 40(2): 335–363.
24. Ryynänen, S., Rönkkö, E., 2001: Harvennusharvestereiden tuottavuus ja kustannukset. Helsinki. Työtehoseuran julkaisuja 381, 67 p.
25. McNeel, JF., Rutherford, D., 1994: Modelling harvester-forwarder system performance in a selection harvest. *Journal of Forest Engineering* 6(1): 7–14.
26. Puttock, D., Spinelli, R., Hartsough, BR., 2005: Operational trials of cut-to-length harvesting of poplar in a mixed wood stand. *Journal of Forest Engineering* 16(2): 17–25.
27. Kärhä, K., Rönkkö, E., Gumse, S., 2004: Productivity and cutting costs of thinning harvesters. *Journal of Forest Engineering* 15(2): 43–56.
28. Gerasimov, Y., Senkin, V., Väätäinen, K., 2012: Productivity of single-grip harvesters in clear-cutting operations in the northern European part of Russia. *European Journal of Forest Research* 131(3): 647-654.
29. Gerasimov, Y., Seliverstov, A., 2010: Industrial round-wood losses associated with the harvesting systems in Russia. *Croatian Journal of Forest Engineering* 31(2): 111–126.
30. John Deere, 2009: TimberLink. Quick guide. 16 p.
31. Gerasimov, Y., Sibiryakov, K., Moshkov S., Väkky, E., Karvinen, S., 2009: Cost calculation of timber harvesting machines. *Metsäntutkimuslaitos, Joensuu*, 44 p.
32. Väätäinen, K., Liiri, H., Asikainen, A., Sikanen, L., Jylhä, P., Rieppo, K., Nuutinen, Y., Ala-Fossi, A., 2007: Korjureiden ja korjuuketjun simulointi ainespuun korjuussa. *Metlan työraportteja* 48, 78 p.
33. Kariniemi, A., 2006: Kuljettajakeskeinen hakkuukonetyön malli – työn suorituksen kognitiivinen tarkastelu. Helsingin yliopiston metsävarojen käytön latoksen julkaisuja 38, 126 p..
34. Sirén, M., 1998: Hakkuukonetyö, sen korjuujälki ja puustovaurioiden ennustaminen. Väitöskirja. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 694, 179 p.