

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ МАШИН И ХАРВЕСТЕРНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ЗАГОТОВКИ ДРЕВЕСИНЫ ПО ФУНДАМЕНТАЛЬНОМУ КРИТЕРИЮ ТЕХНОЛОГА — УДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГОЕМКОСТИ

С.Б. Якимович, Ю.В. Ефимов

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37  
jak.55@mail.ru

Представлена сравнительная оценка эффективности систем машин на базе валочно-пакетирующей машины и харвестера, реализующих одинаковый конечный предмет труда — сортимент. Для сравнения выбраны машины с харвестерными агрегатами одного производителя с идентичными характеристиками. Показано, что при заготовке сортиментов эффективнее использовать харвестер, поскольку для него удельная энергоемкость заготовки конечного продукта — сортимента меньше на 20 % по сравнению с системой «валочно-пакетирующая машина + процессор». Проведено сравнение себестоимости заготовки и вывозка древесины для двух систем машин: первой — с низкой производительностью «харвестер — форвардер» и второй — с высокой «валочно-пакетирующая машина — скиддер — процессор». Выполнена оценка современных харвестерных агрегатов различных производителей по критериям удельной энергоемкости и удельной массы.

**Ключевые слова:** производительность, удельная энергоемкость, харвестер, валочно-пакетирующая машина, сучкорезно-раскряжевая машина, харвестерный агрегат

**Ссылка для цитирования:** Якимович С.Б., Ефимов Ю.В. Оценка эффективности систем машин и харвестерных агрегатов для заготовки древесины по фундаментальному критерию технолога — удельной энергоемкости // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 59–68. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-59-68

При выборе комплектов машин или харвестерных агрегатов для заготовки древесины технолог руководствуется фреймом технических характеристик, приводимых производителями. Однако множества этих данных не достаточно для обеспечения дальнейшей эксплуатации, эффективность которой оценивается по уровню минимизации эксплуатационных затрат. При этом значительную долю составляют затраты на расход энергии (топлива) и на увеличение мощности и производительности системы и харвестерного агрегата при заготовке древесины. Однако для сравнительных оценок различных систем и агрегатов в технических характеристиках отсутствует основной показатель технолога, учитывающий такие затраты. Это же следует и для удельной массы. Очевидно, что для сравнительной оценки эффективности двух систем машин при получении конечного состояния продукта — сортимента как основной можно принять критерий удельной энергоемкости ( $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$  в виде свертки «отношение мощности ( $\text{кВт}$ ) к производительности ( $\text{м}^3/\text{ч}$ )» [1–4]. Аналогичное заключение применимо и для харвестерных агрегатов. Указанный критерий зависит в значительной степени от уровня техногенеза производителей, управляемой технологии заготовки древесины [5–8] и трансформируется в стоимостной эквивалент как существенная составляющая эксплуатационных затрат.

Значительная доля заготовок древесины в России осуществляется сортиментным способом

[6–10]. Для сортиментной заготовки в настоящее время широко используются следующие системы машин:

- харвестер — форвардер;
- валочно-пакетирующая машина (ВПМ) — скиддер — процессор.

Здесь не рассматривается сортиментная технология с применением моторного инструмента (его доля в общем объеме лесозаготовок составляет 44,9 % [9]) по причине несопоставимых критериев автоматизированных машинных систем и систем ручного труда.

### Цель работы

Цель работы — представление методики обоснованного выбора и сравнительной оценки систем машин и харвестерных агрегатов для заготовки древесины по критериям удельных энергоемкости и массы.

### Материалы и методы

Выбор и сравнительная оценка систем машин и харвестерных агрегатов для заготовки древесины по критериям удельных энергоемкости и массы осуществляется по следующей методике.

Установленная мощность харвестерного агрегата и/или машины, системы машин ( $\text{кВт}$ ) определяется на основе расхода гидрожидкости ( $\text{л}/\text{мин}$ ) и давлению гидронасосов ( $\text{бар}$ ) по выражению

$$N = \frac{P_{\text{нас}} Q}{600\eta}, (\text{кВт}), \quad (1)$$

где  $P_{\text{нас}}$  — номинальное давление насоса, бар;  
 $Q$  — расход жидкости, л/мин;  
 $\eta$  — коэффициент подачи насоса (КПД) для гидравлического привода обычно находится в диапазоне 0,85–0,95.

Часовая производительность харвестера ( $\Pi_{\text{ч}}$ , м<sup>3</sup>/ч) определяется по конечному предмету труда — сортименту, исходя из данных от производителей о том, что в среднем опытный оператор проводит 60 операций в час.

Удельная энергоемкость харвестерного агрегата и/или машины, системы машин,  $g_s$ , (кВт·ч)/м<sup>3</sup>, определяется для конечного состояния предмета труда — сортимента по выражению [1]

$$g_s = \frac{N}{\Pi_{\text{ч}}}. \quad (2)$$

Удельная масса харвестерного агрегата и/или машины, системы машин,  $g_m$ , кг/м<sup>3</sup>, определяется по выражению:

$$g_m = \frac{M}{V_{\text{хл}}}, \quad (3)$$

где  $M$  — масса харвестерного агрегата и/или машины, системы машин, кг;  
 $V_{\text{хл}}$  — объем хлыста, м<sup>3</sup>.

Выражения (1)–(3) использованы для сравнительной оценки систем машин «харвестер — форвардер», ВПМ — скиддер — процессор». При сравнении использовались системы машин одного производителя — Tigercat [9, 11]. Базой для ВПМ и процессора служит гусеничная машина Tigercat 845D мощностью 210 кВт, для харвестера — колесная машина Tigercat 1185 мощностью 230 кВт. Харвестерные агрегаты для харвестера и процессора одинаковы — Tigercat 570. Остальные параметры выражений (1)–(3) приняты одинаковыми для сопоставимости. Удельная энергоемкость рассчитывалась по конечному состоянию предмета труда как отношение суммарной мощности машины и харвестерного агрегата к сменной производительности.

Объем хлыста для выражений (2) и (3) определялся в зависимости от максимального диаметра среза, представленного в технической характеристике харвестерного агрегата, на основе данных из работы [12].

Для представления связи между удельными показателями, рассмотренными выше, и их трансформации в стоимостной эквивалент как существенной составляющей эксплуатационных затрат и фактора эффективности той или иной системы машин использована типовая методика калькуляции эксплуатационных затрат [13, 14].

## Результаты и обсуждение

Существующие дискуссии в промышленности определяются антагонистическими утверждениями об эффективности систем либо на базе харвестера, либо на базе системы «ВПМ — процессор». Для снятия противоречий рекомендуется использовать представленную методику для системы машин одного производителя — Tigercat при прочих идентичных условиях (табл. 1).

Анализ данных табл. 1 показывает, что при заготовке сортиментов эффективнее использовать харвестер. Его удельная энергоемкость при этом меньше на 20,3 % по сравнению с системой машин «ВПМ + процессор» при прочих равных условиях.

К настоящему времени сложилась ситуация, когда зафиксировано производство значительного множества харвестерных агрегатов различными производителями, с одной стороны, и гусеничных и колесных манипуляторных баз — с другой, на которые они навешиваются, причем не только харвестерные агрегаты, но и другие. Например, захватно-срезающие устройства для валки-пакетирования деревьев, агрегаты для сбора и пакетирования лесосечных отходов, древокольные агрегаты, агрегаты для продольного пиления древесины, агрегаты для производства щепы различного назначения, мульчеры, рыхлители и другие агрегаты для обработки почв, выкопки и пересадки деревьев и подроста, кусторезы, ковши (экскаватор) и толкатели; погрузочные устройства для различных видов грузов, буровые агрегаты и перфораторы для обработки прочных и мерзлых грунтов; агрегаты для бурения; агрегаты для подачи бетона и иных строительных смесей или иных видов газообразных, жидких, сыпучих, кусковых продуктов, агрегаты для установки различных опор (столбов и пр.) и так далее.

В этой связи существует потребность в обоснованном выборе тех или иных агрегатов, в частности харвестерных, на основе сравнительной оценки их эксплуатационных показателей. В представленных официальных технических характеристиках производителей харвестерных агрегатов отсутствуют данные, определяющие эксплуатационные качества технологического процесса и реализующих его машин. Например, отсутствие одного из базовых показателей — удельной энергоемкости заготовки древесины установлено на основе анализа данных технических характеристик существующих харвестерных агрегатов [15, 16]. Для снятия этой неопределенности проведена сравнительная оценка современных харвестерных агрегатов различных производителей, которая реализована по выражениям (1)–(3) в рамках научно-исследовательских работ в целях создания отечественного харвестера

на базе экскаваторов с ОАО «Уральское конструкторское бюро транспортного машиностроения» научно-производственной корпорации «Уралвагонзавод». Данные для расчетов представлены официальным дилером «Комек Машинери» ком-

пании «Комацу» или заимствованы с официальных сайтов производителей. Установленная мощность харвестерного агрегата (кВт) рассчитана по расходу гидрожидкости (л/мин) и давлению гидроприводов (бар) (табл. 2).

Т а б л и ц а 1

**Сравнительная оценка системы «валочно-пакетирующая машина + процессор» с харвестером по критерию удельной энергоёмкости**

**Comparative evaluation of the machine system Feller Buncher + processor with a harvester according to the specific energy criterion**

Характеристика	Валочно-пакетирующая машина (feller buncher) Tigercat-845D + валочная головка Tigercat 2000	Процессор Tigercat H845D + харвестерный агрегат Tigercat 570	Харвестер Tigercat 1185 + харвестерный агрегат Tigercat 570
Мощность двигателя, кВт	210	210	230
Мощность агрегата, кВт	135	200	200
Суммарная мощность, кВт	755		430
Масса агрегата, кг	2740	2450	2450
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	43	35	25
Удельная энергоёмкость по конечному продукту, (кВт·ч)/м <sup>3</sup>	21,57		17,2

Т а б л и ц а 2

**Сравнительная оценка харвестерных агрегатов различных производителей**

**Comparative evaluation of harvesting heads of various manufacturers**

Производитель	Модель	Типоразмер		Установленная мощность, кВт	Масса, кг	Удельные величины		Производительность, м <sup>3</sup> /ч
		по объёму хлыста, м <sup>3</sup>	по диаметру распила, см			масса, кг/м <sup>3</sup>	энергоёмкость, кВт·ч/м <sup>3</sup>	
PONSSE	H5	0,269	53	100	900	3345,72	6,20	16,14
	H6	0,351	60	140	1050	2991,45	6,65	21,06
	H7	0,42	65	140	1150	2738,10	5,56	25,2
	H7 euca	0,42	65	140	1200	2857,14	5,56	25,2
	H8	0,65	78	140	1250	1923,08	3,59 В среднем 5,34	39
KOMATSU	S92	0,394	63	110	951	2413,71	4,65	23,64
	C93	0,351	60	110	970	2763,53	5,22	21,06
	360.2	0,424	65	120	1245	2936,32	4,72	25,44
	C123	0,424	65	140	1240	2924,53	5,50	25,44
	S132	0,386	62,5	140	1364	3533,68	6,04	23,16
	370.2	0,351	60	150	1470	4188,03	7,12	21,06
	C144	0,592	75	160	1400	2364,86	4,50	35,52
	S172	0,592	75	150	1675	2829,39	4,22	35,52
	<b>370E*</b>	0,351	60	140	1600	4558,40	6,65 В среднем 5,40	21,06

Продолжение табл. 2

Производитель	Модель	Типоразмер		Установленная мощность, кВт	Масса, кг	Удельные величины		Производительность, м <sup>3</sup> /ч
		по объему хлыста, м <sup>3</sup>	по диаметру распила, см			масса, кг/м <sup>3</sup>	энергоёмкость, кВт·ч/м <sup>3</sup>	
KESLA	16RH	0,179	45	80	445	2486,03	7,45	10,74
	<b>16RHS</b>	0,179	45	65	445	2486,03	6,05	10,74
	18RH	0,179	45	80	450	2513,97	7,45	10,74
	<b>18RHS</b>	0,179	45	60	450	2513,97	5,59	10,74
	25RH	0,455	67	100	790	1736,26	3,66	27,3
	<b>25RHS</b>	0,455	67	85	790	1736,26	3,11	27,3
	28RH	0,455	67	150	1280	2813,19	5,49	27,3
	<b>28RHS</b>	0,455	67	130	1280	2813,19	4,76	27,3
	30RH	0,455	67	150	1400	3076,92	5,49	27,3
	<b>30RHS</b>	0,455	67	130	1400	3076,92	4,76	27,3
	<b>20SH</b>	0,179	45	44	520	2905,03	4,10	10,74
	<b>25SH</b>	0,455	67	75	880	1934,07	2,75 В среднем 5,05	27,3
LOG MAX	928A	0,152	42	50	424	2789,47	5,48	9,12
	4000B	0,225	50	95	666	2960,00	7,04	13,5
	5000D	0,311	57	95	895	2877,81	5,09	18,66
	6000B	0,424	65	130	1385	3266,51	5,11	25,44
	6000Twin	0,424	65	130	1593	3757,08	5,11	25,44
	7000C	0,424	65	160	1708	4028,30	6,29	25,44
	<b>7000 XT</b>	0,424	65	200	2022	4768,87	7,86	25,44
	<b>10000XT</b>	0,71	81	220	3078	4335,21	5,16	42,6
	<b>12000XT</b>	0,885	89	230	4466	5046,33	4,33 В среднем 5,72	53,1
WARATAH	H270 Series II	0,424	65	160	1350	3183,96	6,29	25,44
	H290	0,592	75	175	1970	3327,70	4,93	35,52
	H215E	0,286	55	150	1690	5909,09	8,74	17,16
	HTH250HD	0,311	57	130	950	3054,66	6,97	18,66
	H414	0,379	62	135	1030	2717,68	5,94	22,74
	HTH460	0,592	75	135	820	1385,14	3,80	35,52
	H480C	0,521	71	160	1240	2380,04	5,12	31,26
	<b>HTH622B</b>	0,592	75	195	2120	3581,08	5,49 В среднем 5,91	35,52

О к о н ч а н и е т а б л . 2

Производитель	Модель	Типоразмер		Установленная мощность, кВт	Масса, кг	Удельные величины		Производительность, м <sup>3</sup> /ч
		по объему хлыста, м <sup>3</sup>	по диаметру распила, см			масса, кг/м <sup>3</sup>	энергоёмкость, кВт·ч/м <sup>3</sup>	
SILVATEC	235 MD35	0,179	45	50	615	3435,75	4,66	10,74
	335 MD40	0,225	50	60	862	3831,11	4,44	13,5
	450	0,286	55	145	1024	3580,42	8,45	17,16
	<b>560</b>	0,394	63	145	1350	3426,40	6,13	23,64
	665 MD 70	0,689	80	180	1600	2322,21	4,35 В среднем 5,61	41,34
JOHN DEERE	H412	0,179	47	120	733	4094,97	11,17	10,74
	H414	0,379	62	135	1030	2717,68	5,94	22,74
	H480C	0,521	71	160	1240	2380,04	5,12	31,26
	H758HD	0,311	57	130	950	3054,66	6,97	18,66
	H754	0,592	75	135	820	1385,14	3,80	35,52
AFM-Forest Ltd	AFM 35	0,136	40	85	650	4779,41	10,42	8,16
	AFM 45	0,424	65	100	965	2275,94	3,93	25,44
	AFM 55	0,592	75	130	1090	1841,22	3,66	35,52
ОАО УКБТМ УВЗ**	X450	0,592	75	155	1350	2280,41	4,36	35,52
	X500	0,817	86	185	1620	1982,86	3,77	49,02
	X600	1,006	94	185	1980	1968,19	3,06 В среднем 3,73	60,36
	В600 (валочная)	0,908	90	135	1400	1541,85	2,48	54,48

*Примечание.* Жирным шрифтом помечены харвестерные агрегаты для экскаватора; звездочкой — производство «Уральского конструкторского бюро транспортного машиностроения (г. Нижний Тагил)

Анализ данных табл. 2 приводит к выводу, что удельная энергоёмкость существенно различается у разных производителей и в рамках отдельно взятого производителя. Однако прослеживается следующая тенденция: с увеличением объема хлыста уменьшается удельная энергоёмкость, т. е. энергоэффективность становится выше. Наибольшую энергоёмкость имеет харвестерный агрегат H412 фирмы JOHN DEERE (11,17 (кВт·ч)/м<sup>3</sup>), наименьшую — агрегат 25SH фирмы KESLA (2,75 (кВт·ч)/м<sup>3</sup>) (рис. 1). Оценка по средним значениям удельной энергоёмкости имеющихся агрегатов ранжирует производителей по возрастанию (см. табл. 2).

Удельная масса харвестерного агрегата характеризует уровень техногенеза производителя: чем она меньше, тем рациональнее конструкция и материалы. Удельная масса, так же, как и удель-

ная энергоёмкость, зависит от объема хлыста. Из диаграммы (рис. 2) видно, что рациональностью отличается конструкция агрегатов от производителя LOG MAX. Высокие значения удельной массы имеют следующие агрегаты: H215E фирмы WARATAN, 450 — SILVATEC, H412 — JOHN DEERE, AFM 35 — AFM-Forest Ltd.

В сентябре 2018 г., в рамках ежегодной международной выставки GRAND EXPO URAL (г. Екатеринбург), ОАО «Уральское конструкторское бюро транспортного машиностроения» экспонировался опытный образец российского харвестера, произведенного на базе серийного экскаватора ЭО-41211. Харвестер комплектуется тремя харвестерными агрегатами (X450, X500, X600) и одной валочной головкой — В600. Судя по показателям удельной энергоёмкости и удельной массе, ОАО «Уральское конструкторское бюро

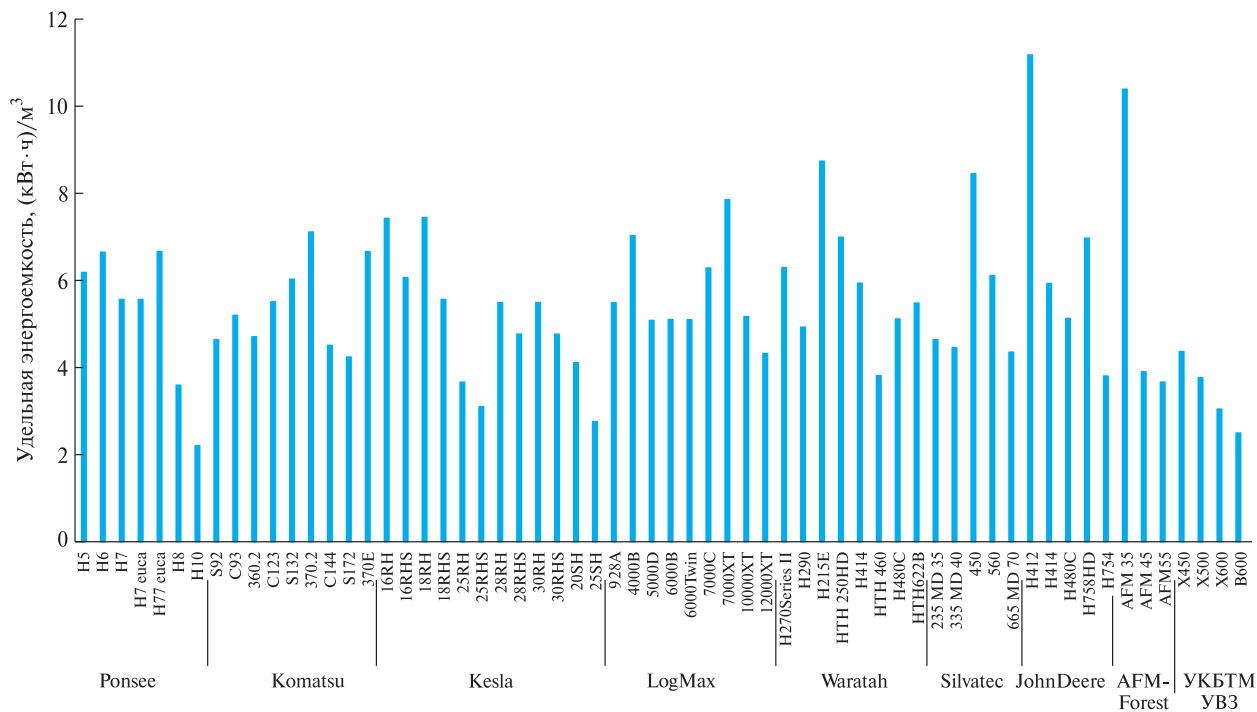


Рис.1. Диаграмма удельной энергоёмкости харвестерных агрегатов различных моделей  
 Fig. 1. Energy-specific diagram of harvesting heads of various models

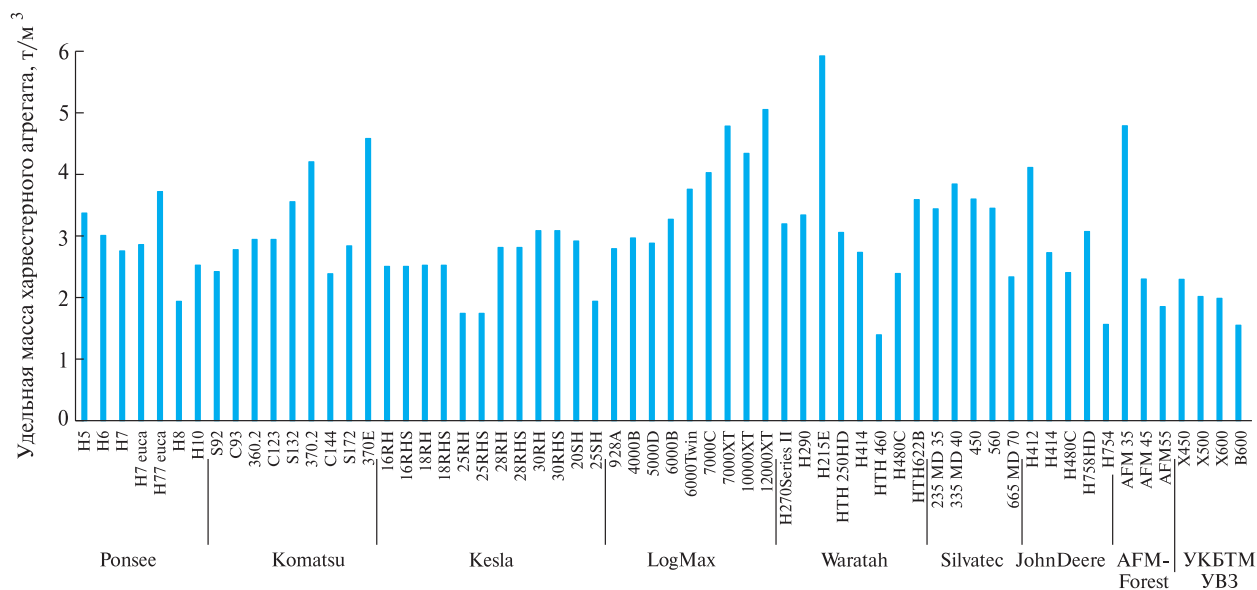


Рис. 2. Диаграмма удельной массы харвестерного агрегата различных моделей  
 Fig. 2. The diagram of the specific gravity of the harvesting head of various models

транспортного машиностроения» оптимально оснащает производимую им базовую машину навесным оборудованием.

Зависимость трансформации удельной энергоёмкости в стоимостной эквивалент — себестоимость подтверждена на основе исследования, проведенного на примере стратегии развития лесопромышленного комплекса ООО «Алмас» Республики Саха (Якутия) [17]. В этой работе

рассмотрены два альтернативных варианта технологии сортиментной заготовки древесины на базе систем машин: «харвестер — форвардер» и «ВПМ — скиддер — процессор», две технологические схемы разработки лесосеки для каждой из систем машин: одна без сохранения подроста, другая — с сохранением. В качестве рекомендованной технологии была предложена запатентованная технология заготовки сортиментов



с сохранением подроста и деревьев, оставляемых на доращивание. Ранее эта технология была экспериментально проверена в условиях арендных участков ОАО «Соликамскбумпром» [18–21]. Для каждого из варианта рассчитаны себестоимость заготовки и вывозка древесины по методике, представленной в работах [13, 14].

Результаты получены для существующих норм и таксационных характеристик предприятия:

Годовой объем заготовки, тыс. м <sup>3</sup> .....	300
Средний объем хлыста, м <sup>3</sup> .....	0,4
Ликвидный запас леса, м <sup>3</sup> /га.....	130
Расстояние вывозки древесины, км.....	120

Себестоимость заготовки и вывозка древесины по двум альтернативным вариантам составляет [17]:

Система машин «харвестер — форвардер», руб. за 1 м <sup>3</sup> .....	733,18
«ВПМ — скиддер — процессор», руб. за 1 м <sup>3</sup> .....	733,61

Отсюда следует, что себестоимость заготовки и вывозка древесины по двум альтернативным вариантам практически одинакова, что обусловлено более низкой производительностью первого комплекта и существенной стоимостью второго.

При внедрении предложенной технологии также выявлены следующие преимущества:

- сохранность подроста и деревьев, оставляемых на доращивание, обеспечена в объеме 96 %;
- полная сохранность почвогрунтов вне технологических коридоров, а также частично на волоках (трелевка древесины выполняется по слою порубочных остатков, сконцентрированных на волоке);
- сбор и доставка на погрузочный пункт порубочных остатков, полностью сконцентрированных на волоке при запатентованной технологии и частично на волоке, частично на лентах при стандартной технологии, выполняются форвардером по окончании разработки пасаки (производительность системы при этом не снижается в связи с более высокой производительностью форвардеров в комплекте).

Повышение эффективности систем машин «харвестер — форвардер» при сортиментной заготовке древесины обеспечивается такими видами интенсификации [5], как следующие методы управления:

- способами и приемами работы харвестера;
- технологическими схемами посредством изменения факторов, влияющих на снижение удельной энергоемкости для различных по характеристикам лесосек;
- комплектованием системы машин «харвестер — форвардер» в целях синхронизации с помощью параметрической оптимизации;
- распределением операции сортировки между харвестером и форвардером в системе.

## Выводы

Представленная инженерная методика позволяет выполнять обоснованный выбор систем машин и харвестерных агрегатов по критерию удельной энергоемкости для предприятия по заготовке древесины.

Сравнительная оценка систем машин «харвестер — форвардер», «ВПМ — скиддер — процессор» одного производителя Tigercat при сопоставимых условиях по критерию удельной энергоемкости показала, что эффективность первой системы выше на 20,3 %, т. е. для сортиментной заготовки древесины использование системы машин «харвестер — форвардер» предпочтительнее.

Удельная энергоемкость харвестерных агрегатов существенно различается по производителям и в рамках отдельно взятого производителя. Наибольшую энергоемкость имеет харвестерный агрегат H412 фирмы JOHN DEERE (11,17 (кВт·ч)/м<sup>3</sup>), наименьшую — агрегат 25SH фирмы KESLA (2,75 (кВт·ч)/м<sup>3</sup>). Представленные результаты могут быть использованы для рационального выбора харвестерного агрегата.

Удельная масса харвестерного агрегата характеризует уровень техногенеза производителя: чем она меньше, тем более рациональны конструкция и материалы. Этот критерий определил оптимальную конструкцию от производителя LOG MAX. Наибольшие значения удельной массы имеют агрегаты: H215E фирмы WARATAN, 450 — SILVATEC, H412 — JOHN DEERE, AFM 35 — AFM-Forest Ltd.

## Список литературы

- [1] Якимович С.Б. Теория синтеза оптимальных процессов: проектирование систем заготовки и обработки древесины и управление ими. Пермь: Пермская ГСХА, 2006. 249 с.
- [2] Якимович С.Б., Ефимов Ю.В. Возможности снижения удельной энергоемкости при производстве пиломатериалов на лесосеке // Сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы лесного комплекса», Брянск, БГИТА / под ред. Е.А. Памфилова, 2009. Вып. 22. С. 227–228.
- [3] Якимович С.Б., Полукаров М.В. Оценка резервов эксплуатационных затрат систем машин заготовки древесины «харвестер — форвардер» // Материалы XIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник» «Научное творчество молодежи — лесному комплексу России». Екатеринбург: УГЛУ, 2017. С. 23–25.
- [4] Ефимов Ю.В. Оценка эффективности лесопиления в условиях лесосеки по критерию удельной энергоемкости // Отраслевые аспекты технических наук, 2012. № 12. С. 67–70.
- [5] Якимович С.Б., Медовщиков В.Ф., Тетерина М.А. Способы интенсификации заготовки древесины (на примере системы «харвестер-форвардер») // Материалы IV Всерос. отраслевой науч.-практ. конф. «Ин-

- новации — основа развития целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности». Пермь: ПНИПУ, 2016. С. 90–101.
- [6] Падласов П.А. К вопросу о снижении удельной энергоёмкости производственного процесса заготовки древесины по сортиментной технологии // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2014. Т. 4. С. 225–226.
- [7] Скурихин В.И., Корпачев В.П. Обоснование выбора технологии и машинных комплексов на лесосечных работах // Вестник Красноярского государственного аграрного университета, 2007. № 1. С. 203–209.
- [8] Santos D.W.F.N., Fernandes H.C., Valente D.S.M., Leite E.S. Analyze technical and economic of two subsystems of forest harvesting of cut to length // Revista brasileira de ciencias agrarias-agraria, 2018, v. 13, n. 2, p. 5516. DOI:10.5039/agraria.v13i2a5516.
- [9] Zaprudnov V.I., Sanaev V.G., Karpachev S.P., Levushkin D., Gorbacheva G. The influence of chemical additives on strength of wood-cement composite // Materials Science Forum, 2019, t. 972, pp. 69–76.
- [10] Кондратюк Д.В. Парк лесосечных машин и особенности их эксплуатации // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2012. № 32. С. 17–22.
- [11] Рябухин П.Б., Рябухин А.П. Как повысить эффективность эксплуатации лесозаготовительных машин // Философия современного природопользования в бассейне реки АМУР. Хабаровск: Тихоокеанский государственный ун-т, 2018. С. 11–15.
- [12] Редькин А.К., Якимович С.Б. Математическое моделирование и оптимизация технологий лесозаготовок. М.: МГУЛ, 2005. 504 с.
- [13] Методические рекомендации (инструкция) по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции лесопромышленного комплекса. М.: МГУЛ, 2003. 213 с.
- [14] Герасимов Ю.Ю., Сибиряков К.Н., Мошков С.Л., Вялькю Э., Карвинен С. Расчет эксплуатационных затрат лесосечных машин. Йоенсуу: Научно-исследовательский институт леса Финляндии, 2009. 44 с.
- [15] Якимович С.Б., Ефимов Ю.В. Оценка удельной энергоёмкости заготовки сортиментов системами машин и харвестерных агрегатов различных производителей // Инновации — основа развития целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности. Екатеринбург: УГЛТУ, 2018. С. 239–243.
- [16] Григорьев И.В., Григорьева О.И. Лесозаготовительные машины на экскаваторной базе // Повышение эффективности лесного комплекса. Петрозаводск: ПГУ, 2018. С. 45–46.
- [17] Управление лесопромышленным бизнесом на основе стратегического планирования освоения лесных ресурсов региона (на примере стратегии развития лесопромышленного комплекса ООО «Алмас» Республики Саха (Якутия)) / под ред. А.В. Мехренцева. Екатеринбург: УГЛТУ, 2016. 256 с.
- [18] Якимович С.Б., Тетерина М.А. Синхронизация обрабатывающе-транспортных систем заготовки и первичной обработки древесины. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. 201 с.
- [19] Якимович С.Б., Груздев В.В., Крюков В.Н., Тетерина М.А. Способ заготовки сортиментов машиной манипуляторного типа. Пат. на изобретение 2365093 Российская Федерация, МПК А01G23/02. / (RU). № 2008107195/12; заявл. 26.02.07; опубл. 27.08.2009. Бюл. № 24. 2 с.
- [20] Якимович С.Б., Груздев В.В., Свириденков А.Н., Тетерина М.А., Минай А.Я., Столяров А.М. Способ заготовки сортиментов машиной манипуляторного типа с сохранением молодняка. Пат. на изобретение 2467559 Российская Федерация, МПК А01G23/02. / (RU). № 2011125457/13; заявл. 20.06.2011; опубл. 27.11.2012. Бюл. № 33. 3 с.
- [21] Якимович С.Б., Тетерина М.А. Оценка энергоэффективности и экологичности нового способа заготовки и обработки древесины харвестером на основе промышленной апробации // Вестник Казанского технологического университета, 2013. Т. 16. № 24. С. 40–44.

## Сведения об авторах

**Якимович Сергей Борисович** — д-р техн. наук, зав. кафедрой технологии и оборудования лесопромышленного производства Уральского государственного лесотехнического университета, jak.55@mail.ru

**Ефимов Юрий Валерьевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства Уральского государственного лесотехнического университета, yura\_efimov.83@mail.ru

Поступила в редакцию 13.06.2019.

Принята к публикации 19.11.2019.



## ESTIMATION OF MACHINERY AND HARVESTING HEADS EFFICIENCY SYSTEMS FOR PREPARATION OF WOOD BY FUNDAMENTAL CRITERIA TECHNOLOGY — SPECIAL STORAGE DENSITY

S.B. Yakimovich, Yu.V. Efimov

Ural State Forest Engineering University (USFEU), 37, Siberian tract st., 620100, Yekaterinburg, Russia

[jak.55@mail.ru](mailto:jak.55@mail.ru)

A comparative assessment of the machine systems efficiency based on the feller buncher and on the basis of the harvester, implementing the same final state of the object of labor the assortment is presented. Machines with harvester aggregates of the same manufacturer with identical characteristics were selected for comparison. It has been shown that it is more efficient to use a harvester when harvesting shortwood, since its specific energy consumption of the final product procurement the shortwood is less than 20 % compared with the feller buncher + processor machine system. A cost comparison was made for harvesting and hauling wood for the two systems of machines, the first with a lower productivity «harvester — forwarder» and the second with a higher «feller buncher — skidder — processor». The evaluation of modern harvester aggregates of various manufacturers according to the criteria of specific energy intensity, kW·h / m<sup>3</sup> and specific gravity, kg / m<sup>3</sup> was given. The H412 unit of JOHN DEERE (11,17 kW·h / m<sup>3</sup>) has the highest energy consumption, the smallest — the 25SH unit of KESLA (2,75 kW·h / m<sup>3</sup>). The most rational mass of the harvester unit is used by the manufacturer LOG MAX. The volume of the whip has the greatest influence on the parameters of specific characteristics. The results were obtained on the basis of data provided by customers, official dealers (Komek, Yekaterinburg) or taken from the manufacturers' sites when performing research work on the creation of a domestic harvester together with Uralskoye Transportation Engineering Bureau (UralVagon Plant, Nizhny Tagil) and OOO Almas of the Republic of Sakha (Yakutia).

**Keywords:** performance, specific energy consumption, harvester, feller buncher, processor, harvesting head

**Suggested citation:** Yakimovich S.B., Efimov Yu.V. *Otsenka effektivnosti sistem mashin i kharvesternykh agregatov dlya zagotovki drevesiny po fundamental'nomu kriteriyu tekhnologa — udel'noy energoemkosti* [Estimation of machinery and harvesting heads efficiency systems for preparation of wood by fundamental criteria technology — special storage density]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 59–68.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-59-68

### References

- [1] Yakimovich S.B. *Teoriya sinteza optimal'nykh protsessov: proektirovanie sistem zagotovki i obrabotki drevesiny i upravlenie imi* [The theory of synthesis of optimal processes: design of wood harvesting and processing systems and their management]. Perm', Permskaya GSKhA, 2006, 249 p.
- [2] Yakimovich S.B., Efimov Yu.V. *Vozможности snizheniya udel'noy energoemkosti pri proizvodstve pilomaterialov na lesoseke* [The possibility of reducing the specific energy consumption in the production of sawn materials in the cutting area] *Sbornik nauchnykh trudov po itogam mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa»* [Collection of scientific papers based on the results of the international scientific and technical conference «Actual problems of the forest complex»]. Ed. E.A. Pamfilova. Bryansk, v. 22, 2009, pp. 227–228.
- [3] Yakimovich S.B., Polukarov M.V. *Otsenka rezervov ekspluatatsionnykh zatrat sistem mashin zagotovki drevesiny «kharvester — forwarder»* [Reserves estimation operating cost of machine systems timber «harvester — forwarder»] *Materialy XIII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov i konkursa po programme «Umnik» «Nauchnoe tvorchestvo molodezhi — lesnomu kompleksu Rossii»* [Materials of the XIII All-Russian Scientific and Technical Conference of Students and Postgraduates and the competition for the program «Clever Man» Scientific Work of Youth — the Forestry Complex of Russia]. Yekaterinburg: Ural State Technical University, 2017, pp. 23-25.
- [4] Efimov Yu.V. *Otsenka effektivnosti lesopileniya v usloviyakh lesoseki po kriteriyu udel'noy energoemkosti* [Evaluating the effectiveness of lumbering in cutting area by specific energy] *Otraslevye aspekty tekhnicheskikh nauk* [Sectoral aspects of technical sciences], 2012, v. 12, pp. 67–70.
- [5] Yakimovich S.B., Efimov Yu.V. *Otsenka udel'noy energoemkosti zagotovki sortimentov sistemami mashin i kharvesternykh agregatov razlichnykh proizvoditeley* [Methods of intensification of wood harvesting (for example, the «harvester — forwarder» system)] *Materialy VI Vserossiyskoy otraslevoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Innovatsii — osnova razvitiya tselyulozno-bumazhnoy i derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti»* [Materials of the IV All-Russian industrial scientific-practical conference «Innovation — the basis for the development of pulp and paper and woodworking industry»]. Perm: PNIPU, 2016, pp. 90–101.
- [6] Padlasov P.A. *K voprosu o snizhenii udel'noy energoemkosti proizvodstvennogo protsessa zagotovki drevesiny po sortimentnoy tekhnologii* [On the issue of reducing the specific energy consumption of the production process of timber harvesting by assortment technology] *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2014, v. 4, pp. 225–226.
- [7] Skurikhin V.I. *Korpachev V.P. Obosnovanie vybora tekhnologii i mashinnykh kompleksov na lesosechnykh rabotakh* [Justification of the choice of technology and machine complexes for logging operations] *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], 2007, no. 1, pp. 203–209.
- [8] Santos D.W.F.N., Fernandes H.C., Valente D.S.M., Leite E.S. *Analyze technical and economic of two subsystems of forest harvesting of cut to length // Revista brasileira de ciencias agrarias-agraria*, 2018, v. 13, n. 2, p. 5516.  
DOI: 10.5039/agraria.v13i2a5516

- [9] Zaprudnov V.I., Sanaev V.G., Karpachev S.P., Levushkin D., Gorbacheva G. The influence of chemical additives on strength of wood-cement composite. *Materials Science Forum*, 2019, t. 972, pp. 69–76.
- [10] Kondratyuk D.V. *Park lesosechnykh mashin i osobennosti ikh ekspluatatsii* [Park logging machines and features of their operation] Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa [Actual problems of the forest complex], 2012, no. 32, pp. 17–22.
- [11] Ryabukhin P.B., Ryabukhin A.P. *Kak povysit' effektivnost' ekspluatatsii lesozagotovitel'nykh mashin* [How to increase the efficiency of operation of forest machines] *Filosofiya sovremennogo prirodopol'zovaniya v bassejne reki AMUR* [Materials of the VII International scientific-practical conference «Philosophy of modern nature management in the AMUR river basin»]. Khabarovsk: Pacific State University, 2018, pp. 11–15.
- [12] Red'kin A.K., Yakimovich S.B. *Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya tekhnologiy lesozagotovok* [Mathematical modeling and optimization of logging technologies]. Moscow: MGUL, 2005, 504 p.
- [13] *Metodicheskie rekomendatsii (instruktsiya) po planirovaniyu, uchetu i kal'kulirovaniyu sebestoimosti produktsii lesopromyshlennogo kompleksa* [Methodical recommendations (instructions) for planning, accounting and calculating the cost of production of forest industry complex]. Moscow: MGUL, 2003, 213 p.
- [14] Gerasimov Yu. Yu., Sibiryakov K.N., Moshkov S.L., Vyal'kkyu E., Karvinen S. *Raschet ekspluatatsionnykh zatrat lesosechnykh mashin* [Calculation of operating costs of logging machines]. Joensuu: Finnish Forest Research Institute, 2009, 44 p.
- [15] Yakimovich S.B., Efimov Yu.V. *Otsenka udel'noy energoemkosti zagotovki sortimentov sistemami mashin i kharvesternykh agregatov razlichnykh proizvoditeley* [Estimation of the specific energy consumption of harvesting assortments by systems of machines and harvester aggregates of various manufacturers]. *Innovatsii — osnova razvitiya tsellyulozno-bumazhnoy i derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti* [Innovation is the basis for the development of the pulp and paper and woodworking industry]. Ekaterinburg: Ural State Technical University, 2018, pp. 239–243.
- [16] Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I. *Lesozagotovitel'nye mashiny na ekskavatornoy baze* [Excavator based logging machines]. Improving the Efficiency of the Forest Complex [Improving the Efficiency of the Forest Complex]. Petrozavodsk, 2018, pp. 45–46.
- [17] *Upravlenie lesopromyshlennym biznesom na osnove strategicheskogo planirovaniya osvoeniya lesnykh resursov regiona (na primere strategii razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa OOO «Almas» Respubliki Sakha (Yakutiya))* [Management of the timber industry business based on the strategic planning of forest resources development in the region (on the example of the development strategy of the timber industry complex of Almas LLC of the Sakha Republic (Yakutia))]. Ekaterinburg: USFEU, 2016, 256 p.
- [18] Yakimovich S.B., Teterina M.A. *Sinkhronizatsiya obrabatyvayushche-transportnykh sistem zagotovki i pervichnoy obrabotki drevesiny* [Synchronization of processing and transport systems for harvesting and primary wood processing]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2011, 201 p.
- [19] Yakimovich S.B., Gruzdev V.V., Kryukov V.N., Teterina M.A. *Sposob zagotovki sortimentov mashinoy manipulyatornogo tipa* [The method of harvesting assortments machine manipulator type]. Pat. for the invention 2365093 Russian Federation, IPC A01G23 / 02. / (RU). No. 2008107195/12; declared 02/26/07; publ. 08/27/2009. Bull. No. 24. 2 p.
- [20] Yakimovich S.B., Gruzdev V.V., Sviridenkov A.N., Teterina M.A., Minay A.Ya., Stolyarov A.M. *Sposob zagotovki sortimentov mashinoy manipulyatornogo tipa s sokhraneniem molodnyaka* [Method of harvesting assortments with a manipulator-type machine with the preservation of young animals]. Pat. for invention 2467559 Russian Federation, IPC A01G23 / 02. / (RU). No. 2011125457/13; declared 06/20/2011; publ. 11/27/2012. Bull. No. 33. 3 p.
- [21] Yakimovich S.B., Teterina M.A. *Otsenka energoeffektivnosti i ekologichnosti novogo sposoba zagotovki i obrabotki drevesiny kharvesterom na osnove promyshlennoy aprobatsii* [Evaluation of energy efficiency and environmental friendliness of a new method of harvesting and processing wood using a harvester based on industrial testing]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2013, v. 16, no. 24, pp. 40–44.

## Authors' information

**Yakimovich Sergey Borisovich** — Dr. Sci. (Tech.), Head of the Department of Technology and Equipment for Timber Industry, Ural State Forest Engineering University, jak.55@mail.ru

**Efimov Yuriy Valer'evich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Technology and Equipment for Timber Industry, Ural State Forest Engineering University, yura\_efimov.83@mail.ru

Received 13.06.2019.

Accepted for publication 19.11.2019.