

## **2. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЛЕСОЗАГОТОВОК**

---

УДК 630\*245.11

**С.П. Мохов, С.Е. Арико, Д.А. Кононович, П.А. Протас**

### **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА МАШИН ДЛЯ СБОРА И ТРАНСПОРТИРОВКИ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ**

*Введение.* После проведения заготовки древесины для передачи освоенных лесосек лесохозяйственным учреждениям существует проблема их очистки от лесосечных отходов. Для ее решения ОАО «Минский тракторный завод» и «Белорусский государственный технологический университет» совместно разработали опытные образцы комплекса машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов. Эффективность применения комплекса зависит от ряда природно-производственных факторов. При этом основным критерием оценки, позволяющим оценить эффективность работы каждой из машин в отдельности, является их производительность. Особенность оценки применения машин в составе комплекса заключается в том, что сменную производительность комплекса необходимо оценивать в плотных метрах кубических, при этом общепринятым является определение производительности машин для сбора лесосечных отходов в гектарах, а машин для транспортировки лесосечных отходов в метрах кубических. В связи с этим разработана методика для наиболее распространенных условий эксплуатации данных машин с оценкой их эффективности на основе сопоставления их производительностей, приведенных к плотным метрам кубическим лесосечных отходов, по следующим технологиям очистки лесосек: технология очистки лесосек после проведения сплошных рубок бензомоторными пилами (технология №1); технология очистки лесосек после сплошных рубок с сохранением подроста с применением харвестера (технология №2); технология очистки лесосек после сплошных рубок без сохранения подроста с применением харвестера (технология №3).

*Методика исследования.* Для оценки эффективности комплекса машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов разработаны методики определения их сменной производительности в зависимости от различных

природно-производственных условий. Сменная производительность машины для сбора лесосечных отходов определяется по формуле (1).

$$P_{\text{см}} = \frac{(T - t_{\text{п-з}}) \cdot \varphi_{\text{рв}} \cdot \varphi_{\text{тг}} \cdot \varphi_{\text{рм}} \cdot q \cdot L_{\text{гр}} \cdot l_{\text{пр}} \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_4 \cdot \varphi_5}{10000 \cdot \left( \frac{l_{\text{пр}}}{v_{\text{р}}} + \frac{l_{\text{хх}}}{v_{\text{хх}}} + t_{\text{оп гр}} + t_{\text{разг гр}} \right)}, \quad (1)$$

где  $T$  – продолжительность смены, с (28 800 с);  $t_{\text{п-з}}$  – время на выполнение подготовительно-заключительных операций, с (2500 с);  $\varphi_{\text{рв}}$  – коэффициент использования рабочего времени ( $\varphi_{\text{рв}} = 0,8$ );  $\varphi_{\text{тг}}$  – коэффициент технической готовности ( $\varphi_{\text{тг}} = 0,8$ );  $\varphi_{\text{рм}}$  – коэффициент учитывающий рельеф местности (0,85–1,0);  $q$  – ликвидный запас древесины, м<sup>3</sup>/га;  $L_{\text{гр}}$  – ширина технологического оборудования для сбора лесосечных отходов, м;  $l_{\text{пр}}$  – среднее расстояние прохода при формировании вала ( $l_{\text{пр}} = B$  – без сохранения подроста,  $l_{\text{пр}}$  – определяется по формуле (4) в случае сбора лесосечных отходов в кучи при сохранении подроста), м;  $\varphi_2$  – коэффициент использования ширины захвата, (0,85–0,95);  $\varphi_4$  – коэффициент, учитывающий долю образующихся лесосечных отходов [Матвейко, 1999];  $\varphi_5$  – коэффициент, учитывающий технологию работы ( $\varphi_5 = 1$  при сборе лесосечных отходов после бензиномоторной пилы,  $\varphi_5 = 1,5$  при сборе лесосечных отходов с двух пасек после харвестера);  $v_{\text{р}}$  – рабочая скорость подборщика лесосечных отходов, м/с;  $v_{\text{хх}}$  – скорость холостого хода подборщика лесосечных отходов, м/с;  $t_{\text{оп гр}}$  – время на опускание технологического оборудования, с (3–5 с);  $t_{\text{разг гр}}$  – время на подъем технологического оборудования, с (4–6 с).

$$\varphi_4 = \frac{\sum_{i=1}^k v_i \cdot a_i}{100}, \quad (2)$$

где  $v_i$  – доля древесины  $i$ -й породы в формуле породного состава лесонасаждений;  $a_i$  – норматив образования лесосечных отходов  $i$ -й породы, %.

На объем образования лесосечных отходов на лесосеке влияют множество факторов: система лесосечных машин, объем заготовки, время года, породный состав древостоя, вид рубки и др. [Григорьев, Валяжонков, 2009]. Усредненный норматив образования ресурсов лесосечных отходов представлен в табл. 1.

Расстояние, необходимое для формирования кучи из лесосечных отходов, определяется тягово-сцепными свойствами базового трактора и почвенно-грунтовыми условиями, представленными в табл. 2.

Таблица 1

**Норматив образования ресурсов лесосечных отходов**

**The standard of education resources logging waste**

Порода	Норматив, %
Сосна	14
Ель	18
Осина	8
Береза	6

Таблица 2

**Характеристики сцепления и сопротивления качению колесного движителя**

**Coupling and rolling resistance characteristics of the wheel propulsion**

Тип опорной поверхности	Коэффициент сопротивления качению, $f$	Коэффициент сцепления, $\varphi$
Грунтовая дорога: сухая мокрая	0,03–0,05 0,05–0,15	0,50–0,80 0,30–0,40
Песчаный грунт: сухой мокрый	0,10–0,30 0,06–0,15	0,30–0,6 0,40–0,5
Глинистый грунт: сухой увлажненный до пластического состояния мокрый (увлажненный до текучего состояния)	0,04–0,06 0,10–0,20 0,20–0,30	0,40–0,60 0,20–0,40 0,15–0,25
Снежная целина	0,20–0,35	0,20–0,40
Снежная укатанная дорога: сухая мокрая	0,030–0,035 0,018–0,030	0,20–0,40 0,08–0,20
Подзолистый грунт: сухой мокрый	0,03–0,04 0,10–0,25	0,5–0,8 0,3–0,4
Торфяно-болотные грунты	0,20–0,35	0,10–0,30

Условия движения машины для сбора лесосечных отходов определяются по выражению:

$$\begin{cases} F_{\varphi} = G_{\text{сц}} \cdot \varphi, \\ G_{\text{сц}} = G_{\text{м}} \cdot k, \\ F_f = Q_{\text{суч}} \cdot f_1 + G_{\text{м}} \cdot f, \\ Q_{\text{суч}} = B \cdot l_{\text{пр}} \cdot q \cdot \varphi_4 \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-4}, \\ F_{\varphi} \geq F_k \geq F_f, \end{cases} \quad (3)$$

где  $F_{\varphi}$  – сила тяги по сцеплению, Н;  $\varphi$  – коэффициент сцепления;  $G_{\text{сц}}$  – сцепной вес, Н;  $G_{\text{м}}$  – вес базового трактора, Н;  $k$  – коэффициент, учитывающий перераспределение сцепного веса, ( $k = 1$  для полноприводных машин,  $k = \frac{R_2}{G_{\text{м}}}$  – для базовых тракторов с колесной формулой 4К2);

$R_2$  – нагрузка на заднюю ось трактора, Н;  $\rho$  – плотность лесосечных отходов, кг/м<sup>3</sup>;  $F_f$  – сила сопротивления волочению лесосечных отходов по волоку, Н;  $Q_{\text{суч}}$  – объем лесосечных отходов, м<sup>3</sup>;  $f_1$  – коэффициент сопротивления волочению лесосечных отходов по волоку;  $f$  – коэффициент сопротивления качению;  $B$  – ширина пазеки, м;  $F_k$  – касательная сила тяги базового трактора, Н.

Решая систему уравнений (3), можно определить среднее расстояние прохода при формировании вала лесосечных отходов  $l_{\text{пр}}$  по формуле

$$l_{\text{пр}} = 10000 \cdot \frac{F_f - G_{\text{м}} \cdot f}{B \cdot q \cdot \varphi_4 \cdot \rho \cdot f_1 \cdot g}. \quad (4)$$

Сменная производительность машины для транспортировки лесосечных отходов определяется по формуле

$$П_{\text{см}} = \frac{(T - t_{\text{п-3}}) \cdot \varphi_{\text{рв}} \cdot \varphi_{\text{тр}} \cdot V \cdot \varphi_6 \cdot \varphi_7 \cdot \varphi_8}{n \cdot \left[ T_{\text{загр}} + n_1 \cdot \left( 1 + \frac{1}{\varphi_7} \right) \cdot T_{\text{разгр}} \right] + t_{\text{хх}} + t_{\text{рх}},} \quad (5)$$

где  $V$  – объем грузовой платформы, м<sup>3</sup>;  $\varphi_6$  – коэффициент использования геометрической вместимости грузовой платформы, (0,8–0,95);  $\varphi_7$  – коэффициент уплотнения лесосечных отходов, (1,4–1,75); при отсутствии подвижных бортов  $\varphi_7 = 1$ ;  $\varphi_8$  – коэффициент полндревесности разбросанных лесосечных отходов;  $n$  – количество переездов машины, необ-

ходимое для наполнения грузовой платформы, шт.;  $n_1$  – количество технологических циклов работы технологического оборудования, выполняемой на одной стоянке, шт.;  $t_{xx}$  – время, затрачиваемое на холостой ход, с;  $t_{рх}$  – время затрачиваемое на рабочий ход, с.

Время цикла на загрузку и разгрузку платформы лесосечными отходами  $T_{загр}$  и  $T_{разгр}$  определяется по формулам соответственно:

$$T_{загр} = t_{оп.аут} + t_{отк б} + t_{упл.л о} + t_{пер}, \quad (6)$$

где  $t_{оп аут}$  – время на подъем и опускание аутригеров, (5–10 с), при отсутствии аутригеров  $t_{оп аут} = 0$  с;  $t_{отк б}$  – время на открытие бортов, (10–15 с), при отсутствии подвижных бортов  $t_{отк б} = 0$  с;  $t_{упл.л о}$  – время на уплотнение лесосечных отходов, (30–40 с), при отсутствии подвижных бортов  $t_{оп аут} = 0$  с;  $t_{пер}$  – время на переезды машины при погрузке лесосечных отходов;

$$T_{разгр} = t_{xx ман} + t_{захв.л о} + t_{рх ман} + t_{раз гр}, \quad (7)$$

где  $t_{xx ман}$  – время на повороты манипулятора (холостой ход), (20–25 с);  $t_{захв л о}$  – время на захват грейфером лесосечных отходов, (6–12 с);  $t_{рх ман}$  – время укладки лесосечных отходов на грузовую платформу, (6–12 с);  $t_{раз гр}$  – время на разгрузку грейфера, (2–5 с);

Количество переездов машины  $n$ , необходимое для наполнения грузовой платформы, определяется по формуле

$$n = \frac{V_p \cdot \varphi_7 \cdot \varphi_8}{V_1}, \quad (8)$$

где  $V_p$  – средняя нагрузка на рейс машины, м<sup>3</sup>;  $V_1$  – объем лесосечных отходов, образующихся на одной технологической стоянке, м<sup>3</sup>.

В случае сбора лесосечных отходов с одной пасеки  $V_1$  определяется по формуле

$$V_1 = L_{тс} \cdot 2 \cdot B \cdot q \cdot \varphi_4 \cdot \varphi_5 \cdot 10^{-4}, \quad (9)$$

где  $L_{тс}$  – расстояние между технологическими стоянками, м; при погрузке из вала  $L_{тс} = L_m$ , при погрузке из куч (сохранение подроста)  $L_{тс} = l_{пр}$ ;

Если заготовка древесины осуществляется без сохранения подроста, то сбор лесосечных отходов формируется с двух пасек и определяется по формуле

$$V_1 = L_{тс} \cdot B \cdot q \cdot \varphi_4 \cdot \varphi_5 \cdot 10^{-4}. \quad (10)$$

На основании проведенных исследований Леонова Е.А. получен ряд коэффициентов полнодревесности  $\phi_8$ , представленный в табл. 3 [Леонов, Федоренчик, Ледницкий, 2008].

Таблица 3

**Коэффициенты полнодревесности лесосечных отходов**

**The coefficients of full-wood logging waste**

Способ укладки голяя	Коэффициенты полнодревесности, $\phi_8$		
Уложено	0,056	–	–
свободно вдоль трелевочного волока	–	–	–
в разнокомелицу на промежуточном складе	0,066	0,067	0,070
направленно на промежуточном складе	0,088	0,094	0,100

Средняя нагрузка на рейс  $V_p$  машины определяется по следующей формуле

$$V_p = V \cdot \phi_8 \cdot \phi_7. \quad (11)$$

Время на переезды машины  $t_{\text{пер}}$  при погрузке лесосечных отходов зависит от расстояния между технологическими стоянками  $L_{\text{тс}}$  и скорости рабочего хода машины  $v_{\text{рх}}$ , и определяется по формуле

$$t_{\text{пер}} = \frac{L_{\text{тс}}}{v_{\text{рх}}}, \quad (12)$$

где  $v_{\text{рх}}$  – скорость рабочего хода машины для транспортировки лесосечных отходов, м/с.

Время, затрачиваемое на рабочий и холостой ходы машины для транспортировки лесосечных отходов, определяется по формулам:

$$t_{\text{рх}} = \frac{l_{\text{тр}} - L_{\text{тс}}}{v_{\text{рх}}}, \quad (13)$$

где  $l_{\text{тр}}$  – расстояние транспортировки лесосечных отходов, м;

$$t_{\text{хх}} = \frac{l_{\text{тр}}}{v_{\text{хх}}}. \quad (14)$$

Количество рабочих циклов  $n_1$  на одной технологической стоянке определяется по формуле

$$n_1 = \frac{V_1}{V_2}, \quad (15)$$

где  $V_2$  – объем лесосечных отходов в грейфере,  $\text{м}^3$ .

Объем лесосечных отходов в грейфере  $V_2$  определяется по формуле

$$V_2 = S \cdot \varphi_8 \cdot l_{\text{отх}}, \quad (16)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения (зева) захвата,  $\text{м}^2$ , (0,18–0,376  $\text{м}^2$ );  
 $l_{\text{отх}}$  – средняя длина отходов, м;

*Результаты исследования.* В соответствии с разработанной методикой, на основании проведенных теоретических исследований и эксплуатационных испытаний в реальных производственных условиях, получены зависимости изменения сменной производительности машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов от различных параметров: породного состава, ширины очищаемой от лесосечных отходов полосы, ширины захвата оборудования для сбора лесосечных отходов, максимального вылета устанавливаемого на машину для транспортировки лесосечных отходов гидроманипулятора, степени уплотнения лесосечных отходов на грузовой платформе, среднего расстояния транспортировки отходов.

В качестве наиболее типичных насаждений рассматривались насаждения: 6СЗБ1Е, широко встречающиеся в условиях Республики Беларусь с учетом преобладающих пород; 9С1Б – типичные хвойные насаждения; 5СЗЕ2Б – типичные смешанные насаждения.

На объем лесосечных отходов существенное влияние оказывает содержание еловых и березовых насаждений в процентном выражении. Так, увеличение объема еловых приводит к увеличению норматива образования ресурсов отходов лесозаготовок [Григорьев, Валяжонков, 2009]. В связи с этим, производительность машины для сбора лесосечных отходов при эксплуатации в типичном для Республики Беларусь древостое в зависимости от ликвидного запаса варьируется в диапазоне от 29,1–43,7  $\text{м}^3/\text{см}$  (рис. 1). В случае ее эксплуатации в насаждении с породным составом 5СЗЕ2Б производительность увеличивается в 1,13 раза по сравнению с насаждениями, где меньшая доля ели.

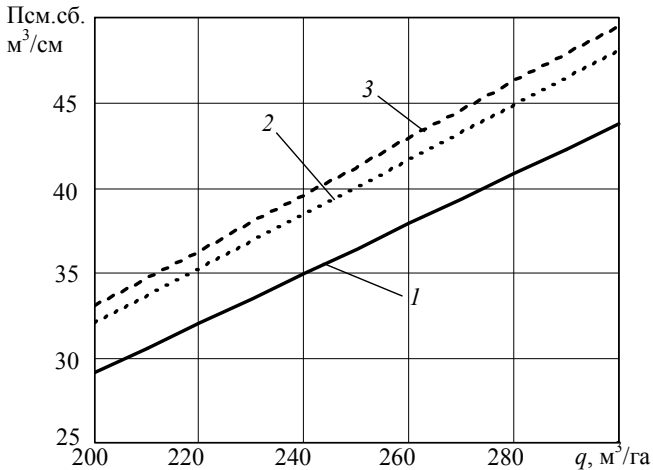


Рис. 1. Влияние породного состава и ликвидного запаса древесины на производительность машины для сбора лесосечных отходов:

1 – 6СЗБ1Е, 2 – 9С1Б, 3 – 5СЗЕ2Б

Fig. 1. Influence of species composition and liquid wood supply on the productivity of the machine for collecting logging waste:

1 – 6P3B1S, 2 – 9P1B, 3 – 5P3S2B

При сборе сучьев с пасек шириной от 15 до 30 м производительность машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов возрастает на 11% и 5% соответственно. Для большей степени концентрации лесосечных отходов валы отходов могут формироваться через пасечный волок, т. е. один вал собирается с двух пасек. При этом ширина очищаемой полосы будет соответствовать удвоенной ширине пасеки, что в рассмотренном случае составит 30 м и 60 м, при этом производительность машины для сбора лесосечных отходов возрастет на 6%, а для транспортировки – на 3%.

Следует отметить, что существенное влияние на производительность машины для транспортировки лесосечных отходов оказывает среднее расстояние трелевки лесосечных отходов с лесосеки на погрузочный пункт. Учитывая, что машина для транспортировки лесосечных отходов двигается по трелевочным волокам, по которым осуществляется трелевка (подвоз) сортиментов форвардерами, то среднее расстояние трелевки для данных машин будет определяться аналогично, как и для форвардера. Для визуального представления результатов исследований рассматривались случаи транспортировки отходов на расстояния 150 м, 300 м и 500 м (рис. 2).



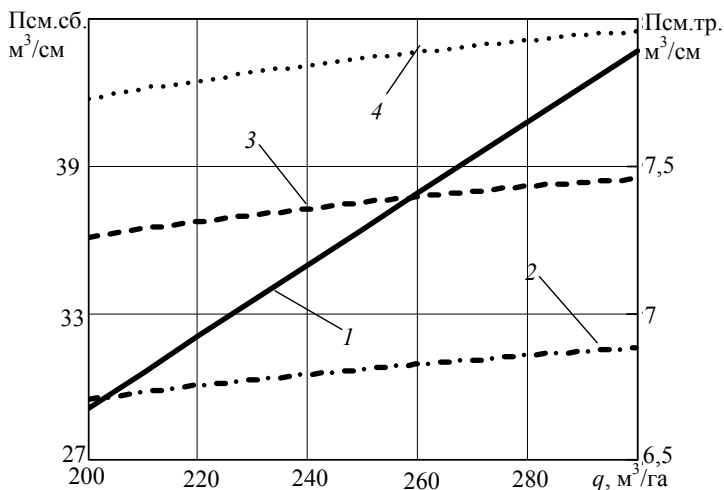


Рис. 2. Влияние на производительность машин для сбора (1) и транспортировки лесосечных отходов среднего расстояния трелевки: 2 – 500 м, 3 – 300 м, 4 – 150 м

Fig. 1. Impact on the performance of machines for collecting (1) and transporting logging waste of medium hauling distance: 2 – 500 m, 3 – 300 m, 4 – 150 m

Исследования подтвердили общие тенденции к необходимости снижения среднего расстояния трелевки для повышения эффективности применения машин для транспортировки различного вида лесоматериалов. Так, в данном случае снижение расстояния трелевки с 300 м до 150 м обеспечивает увеличение производительности на 6,5–6,7%. В случае же снижении расстояния трелевки с 500 м до 150 м производительность может увеличиться в 1,15–1,16 раза. Однако данное мероприятие требует проведения дополнительных исследований для выработки рекомендаций по оптимизации сети трелевочных волоков и расположения верхних (промежуточных) складов.

На основе проведенных исследований установлено, что эффективность применения машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов в составе комплекса зависит от различных факторов, которые в свою очередь взаимосвязаны с технологиями и системами машин, применяемыми на сплошных рубках леса.

В табл. 4 приведены данные, отражающие влияние рассмотренных выше факторов на производительность машин со следующими обозначениями: СБ – машина для сбора лесосечных отходов; ТР – машина для транспортировки лесосечных отходов.

Таблица 4

**Факторы, влияющие на производительность машин  
для сбора и транспортировки лесосечных отходов в зависимости  
от технологии разработки лесосеки**

**Factors affecting the performance of machines for the collection and transfer  
of logging waste, depending on the technology of cutting area development**

Фактор (параметр)	Влияние фактора на увеличение производительности, до %					
	технология № 1		технология № 2		технология № 3	
	СБ	ТР	СБ	ТР	СБ	ТР
Породный состав	13,3	1,0	6,3	0,1	13,3	0,6
Ликвидный запас древесины	50,0	2,7	20,3	0,2	50,0	1,7
Ширина очищаемой от лесосечных отходов полосы	18,1	8,1	25,3 (36,7*)	0,3 (0,6*)	8,9 (8,9 (**))	2,0 (1,4 (**))
Ширина захвата оборудования для сбора лесосечных отходов	50,0	–	–	–	50,0	–
Максимальный вылет гидроманипулятора машины для транспортировки лесосечных отходов	–	2,0	–	–	–	1,2
Степень уплотнения лесосечных отходов	–	34,1	–	31,4	–	33,8
Среднее расстояние трелевки	–	18,7	–	16,0	–	21,9
Тяговый класс машины для сбора лесосечных отходов	–	–	30,1	4,5	–	–

\* – расположение лесосечных отходов с обеих сторон от трелевочного волока;

\*\* – при сборе лесосечных отходов с 3 пасек.

*Выводы.* Разработанная методика оценки эффективности применения комплекса машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов базируется на определении сменной производительности машин с учетом условий их эксплуатации, технологий работы и других факторов. Приведение производительности машин в комплексе к плотным метрам кубическим в смену позволяет осуществлять оценку эффективности отдельной машины и работы всего комплекса, а также устанавливать их влияние друг

на друга. Существенным отличием разработанной методики является также учет влияния на производительность машин способов разработки лесосек, что позволяет на основании полученных результатов давать рекомендации по комплексу работ «заготовка древесины – очистка лесосек». По разработанной методике выполнены расчеты для наиболее типичных условий лесопользования в Республике Беларусь.

Анализируя полученные данные установлено, что на эффективность работы комплекса машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов существенное влияние оказывает технология работы на заготовке древесного сырья. При этом, при разработке лесосек харвестером с односторонней укладкой отходов вдоль волокон производительность машины для сбора лесосечных отходов увеличивается в разы по сравнению с использованием на лесосечных работах бензиномоторных пил. Дополнительное увеличение производительности достигается за счет применения машины более высокого тягового класса.

При увеличении ширины очищаемой от лесосечных отходов полосы, которая кратна ширине пасаки, достигается увеличение производительности машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов до 36,7% и 8,1% соответственно. Следует отметить, что среди технических факторов на производительность комплекса машин наибольшее влияние оказывают ширина захвата оборудования для сбора лесосечных отходов и степень уплотнения лесосечных отходов, которая в свою очередь зависит от конструктивных особенностей машины для транспортировки лесосечных отходов и технологических особенностей выполнения отдельных операций.

Среди рассмотренных технологий наиболее эффективно применение комплекса машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов после проведения заготовки древесины бензиномоторными пилами. В этом случае лесосечные отходы будут разбросаны по всей территории лесосеки, концентрация которых влияет на эффективность всего комплекса. Для наибольшего повышения эффективности очистки лесосек от лесосечных отходов, в том числе на основе применения комплекса машин рекомендуется:

- применять разработанный комплекс машин на лесосеках после их разработки с использованием бензиномоторного инструмента;
- с целью исключения потери древесной биомассы в первую очередь очищать лесосеки, имеющие наибольший ликвидный запас древесины;
- осуществлять очистку лесосек, разработанных с помощью бензиномоторного инструмента, а также при отсутствии подроста, путем формирования общего вала для двух пасаек;

- при очистке лесосеки, разработанной харвестером, предпочтительным является сбор валов в кучи вдоль волоков в отличие от формирования вала с двух или трех пасек;
- выбор места для складирования и последующей переработки лесосечных отходов осуществлять, исходя из обеспечения снижения среднего расстояния трелевки (подвозки).

Проведенные исследования показали, что параметры перспективного комплекса для сбора и транспортировки лесосечных отходов обеспечивают эффективное выполнение работ по очистке лесосек. При этом, с целью повышения эксплуатационных свойств комплекса машин, дальнейшее его совершенствование должно вестись с учетом следующих рекомендаций:

- в качестве базового шасси машины для сбора лесосечных отходов целесообразно применять трактора тягового класса 1,4–2,0, так как дальнейшее его увеличение не приводит к значительному увеличению производительности при высоких эксплуатационных затратах;
- совершенствование машины для сбора лесосечных отходов может быть обеспечено путем увеличения ширины захвата технологического оборудования до 3–3,5 м, путем изменения данного параметра при выполнении транспортных и технологических операций;
- совершенствование машины для транспортировки лесосечных отходов должно осуществляться по направлению увеличения степени уплотнения лесосечных отходов, данная величина должна находиться в диапазоне 1,5–1,7, что соответствует лучшим мировым аналогам аналогичного принципа работы;
- снижение массы технологического оборудования для транспортировки лесосечных отходов;
- машина для транспортировки лесосечных отходов должна оснащаться специальным рейферным захватом, при этом могут использоваться штатно установленные гидроманипуляторы с вылетом от 5,5 м до 7,2 м, применение которых не оказывает влияния на производительность машины в целом;
- организация быстрой смены технологического оборудования, в том числе необходимо учесть возможности установки быстроразъемных соединений, с целью быстрого соединения / отсоединения полуприцепа с технологическим оборудованием, а также возможность агрегатирования оборудования для сбора лесосечных отходов в передней части машины для транспортировки лесосечных отходов.

### **Библиографический список**

*Григорьев И.В., Валяжонков В.Д.* Современные машины и технологические процессы лесосечных работ. СПб.: СПбГЛТА, 2009. 287 с.

*Леонов Е.А., Федоренчик А.С., Ледницкий А.В.* Определение коэффициентов полндревесности отходов лесозаготовок // Труды БГТУ. 2008. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 57–60.

*Матвейко А.П.* Малоотходные и безотходные технологии в лесном хозяйстве и лесной промышленности. Минск: БГТУ, 1999. 84 с.

### **References**

*Grigor'ev I.V., Valyazhonkov V.D.* Modern machines and logging processes. SPb.: SPbGLTU, 2009. 287 p.

*Leonov E.A., Fedorenchik A.S., Lednitskiy A.V.* Opredelenie koeffitsientov polndrevesnosti otkhodov lesozagotovok [Determination of wood harvesting half-timber ratios]. *Trudy BGTU [Proceedings of BSTU]*. 2008, no. 2: Forestry and woodworking industry, pp. 57–60 (In Russ.).

*Matveiko A.P.* Low-waste and non-waste technologies in forestry and forest industry. Minsk: BSTU, 1999. 84 p.

*Материал поступил в редакцию 24.09.2019*

---

**Мохов С.П., Арико С.Е., Кононович Д.А., Протас П.А.** Методика оценки эффективности применения комплекса машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 231. С. 76–90. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.231.76-90

Разработана методика, позволяющая устанавливать эффективность работы комплекса машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов. Такая методика является универсальной при определении производительности комплекса машин, связанная с ее адаптацией к различным технологиям, технологическим и конструктивным особенностям базового шасси и оборудования. В результате проведения оценки эффективности применения таких машин получены данные, на основании которых даны рекомендации по дальнейшему совершенствованию конструкции и рациональном использовании такого вида техники в различных природно-производственных условиях. Основными технологическими параметрами, влияющими на существенное изменение производительности машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов, являются технологии заготовки древесины и ликвидный запас. Осуществляя заготовку лесосечных отходов после разработки лесосеки бензиномоторными пилами, можно достигнуть наибольшей производительности

работы комплекса машин. Из технических особенностей значительно влияющих на эффективность работы комплекса машин являются ширина захвата технологического оборудования для формирования куч или вала и степень уплотнения лесосечных отходов в полуприцепе машины для транспортировки отходов.

**Ключевые слова:** методика, лесосечные отходы, комплекс машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов, эффективность, параметры.

**Mokhov S.P., Ariko S.E., Kononovich D.A., Protas P.A.** Method of evaluating the efficiency of application complex machines for collection and transportation logging waste. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2020, is. 231, pp. 76–90 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2020.231.76-90

A methodology has been developed to ensure the efficient operation of a set of machines for collecting and transporting logging waste. This technique is universal in relation to various technologies, as well as to the technological and design features of basic equipment and equipment. As a result of the evaluation of the effectiveness of the use of such machines, data were obtained based on recommendations for the further improvement of the design and the rational use of this type of equipment in various environmental and production conditions. The main technological parameters affecting a significant change in the productivity of machines for collecting and transporting logging waste are wood harvesting technologies and liquid stock. By harvesting logging waste after developing the cutting area with gasoline-powered saws, one can achieve the greatest productivity of the machine complex. Of the technical features significantly affecting the efficiency of the complex of machines are the width of the processing equipment for the formation of heaps or the shaft and the degree of compaction of logging waste in the semi-trailer machine for transporting waste.

**Key words:** methods, logging waste, complex of machines for collecting and transporting logging waste, efficiency, parameters

---

**МОХОВ Сергей Петрович** – заведующий кафедрой лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства, доцент Белорусского государственного технологического университета, кандидат технических наук.

220006, ул. Свердлова, д. 13а, г. Минск, Республика Беларусь. E-mail: mohov@belstu.by

**МОКHOV Sergey P.** – PhD (Technical), Assistant Professor, Head of the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University.

220006. Sverdlova str. 13a. Minsk. Republic of Belarus. E-mail: mohov@belstu.by

**АРИКО Сергей Евгеньевич** – доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства Белорусского государственного технологического университета, кандидат технических наук.

220006, ул. Свердлова, д. 13а, г. Минск, Республика Беларусь. E-mail: sergeyariko@mail.ru

**ARIKO Sergey E.** – PhD (Technical), Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University

220006. Sverdlova str. 13a. Minsk. Republic of Belarus. E-mail: sergeyariko@mail.ru

**КОНОНОВИЧ Денис Александрович** – ассистент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства Белорусского государственного технологического университета.

220006, ул. Свердлова, д. 13а, г. Минск, Республика Беларусь. E-mail: denkon\_92@mail.ru

**KONONOVICH Denis A.** – Assistant Lecturer, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University.

220006. Sverdlova str. 13a. Minsk. Republic of Belarus. E-mail: denkon\_92@mail.ru

**ПРОТАС Павел Александрович** – доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства Белорусского государственного технологического университета, кандидат технических наук.

220006, ул. Свердлова, д. 13а, г. Минск, Республика Беларусь. E-mail: protas77@rambler.ru

**PROTAS Pavel A.** – PhD (Technical), Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University.

220006. Sverdlova str. 13a. Minsk. Republic of Belarus. E-mail: protas77@rambler.ru