

УДК 630\*245.11

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИН ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ

С.А. Войнаш<sup>(1)</sup>, инженер,  
Д.А. Кононович<sup>(2)</sup>, ассистент,  
С.Е. Арико<sup>(2)</sup>, канд. техн. наук, доцент  
В.А. Соколова<sup>(3)</sup>, канд. техн. наук, доцент

<sup>(1)</sup> ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет»,  
г.Новосибирск

<sup>(2)</sup> Учреждение образования «Белорусский государственный  
технологический университет», г. Минск

<sup>(3)</sup> ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный  
лесотехнический университет»,  
г. Санкт-Петербург

<sup>(1)</sup> E-mail: sergey\_voi@mail.ru

<sup>(3)</sup> E-mail: sokolova\_vika@inbox.ru

*С целью оценки эффективности эксплуатации машин для транспортировки лесосечных отходов в заданных природно-производственных условиях разработана соответствующая методика. В качестве основного оценочного критерия принята сменная производительность, как основной из факторов позволяющих проводить предварительные оценки продолжительности (трудоемкости) транспортировки лесосечных отходов для последующей их утилизации в заданных условиях эксплуатации, а также осуществлять сравнение машин для выполнения данных транспортных операций имеющих различные конструктивные особенности и осуществлять рациональный их выбор. Разработанная методика позволяет определять сменную производительность машин в зависимости от следующих параметров: породного состава, ликвидного запаса древесины, вида, интенсивности и технологии проведения лесозаготовительных работ (система машин, расстояние между трелевочными волоками и среднее расстояние трелевки), технологию очистки лесосек от отходов лесозаготовок (формирование куч или валов, возможность сбора с нескольких пасек), конструктивные особенности (наличие механизмов для уплотнения отходов, аутригеров, шарниров обеспечивающих блокировку тягового звена относительно технологического и др.) и технические характеристики лесозаготовительных машин (объем грузового отсека, скорость выполнения отдельных операций технологического цикла), которые могут быть*

*использованы для реализации поставленной задачи. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили достаточно высокую точность получаемых результатов. При этом было установлено, что на сменную производительность машин для транспортировки лесосечных отходов наибольшее влияние оказывают технико-организационные факторы (степень уплотнения лесосечных отходов, среднее расстояние трелевки, объем грузовой платформы, ширина очищаемой от лесосечных отходов полосы). В связи с вышесказанным представленная методика может быть использована для нормирования работ связанных с транспортировкой лесосечных отходов, а также для оценки технических характеристик лесных машин, имеющих значительные особенности конструктивного исполнения, на стадии проектирования и их влияния на конечную эксплуатационную эффективность.*

*Ключевые слова: машина, лесосечные отходы, транспортировка, эффективность, параметры, технологическое оборудование.*

## **THEORETICAL BASES OF EVALUATING THE EFFICIENCY OF USING MACHINES FOR THE TRANSPORTATION OF LOGGING WASTES**

S.A. Voinash<sup>(1)</sup>, engineer,  
D.A. Kononovich<sup>(2)</sup>, assistant,  
S.E. Arico<sup>(2)</sup>, Ph.D., Assoc.  
V.A. Sokolova<sup>(3)</sup>, Ph.D., Assoc.

<sup>(1)</sup> FSBEI HE "Novosibirsk State Agrarian University", Novosibirsk

<sup>(2)</sup> Educational institution "Belarusian State Technological University", Minsk

<sup>(3)</sup> FSBEI HE "St. Petersburg State Forestry University",  
St. Petersburg

<sup>(1)</sup> E-mail: sergey\_voi@mail.ru

<sup>(3)</sup> E-mail: sokolova\_vika@inbox.ru

*In order to assess the operational efficiency of machines for transporting logs and wastes in specified natural-production conditions, an appropriate technique has been developed. Shift productivity was adopted as the main evaluation criterion, as the main factor allowing preliminary estimates of the duration (laboriousness) of transportation of logging waste for subsequent disposal under specified operating conditions, as well as comparison of machines to perform these transport operations having various design features and make rational choices. The developed methodology allows determining the interchangeable productivity of machines depending on the following parameters: species composition, liquid stock of wood, type, intensity and technology of carrying out logging operations (machine system, distance between skidders and average skidding distance), clearing technology from logging waste (the formation of heaps or shafts, the ability to collect from several*

*apiaries), design features (the presence of mechanisms for compaction of waste, outriggers, joints on providing locking of the traction link regarding technological, etc.) and technical characteristics of forestry machines (cargo compartment volume, speed of individual operations of the technological cycle), which can be used to implement the task. The conducted experimental studies have confirmed a rather high accuracy of the results. At the same time, it was found that technical and organizational factors (degree of compaction of logging waste, average skidding distance, volume of the loading platform, width of the strip cleared of logging waste) have the greatest influence on the shift productivity of machines for transporting logging waste. In connection with the foregoing, the presented method can be used to ration work related to the transportation of logging waste, as well as to evaluate the technical characteristics of forest machines with significant design features at the design stage and their impact on final operational efficiency.*

*Key words: machine, logging wastes, transportation, efficiency, parameters, technological equipment.*

**Введение.** В настоящее время перед предприятиями лесной отрасли стоит задача повышения эффективности использования древесных ресурсов на основе комплексного их использования. При этом первоочередное внимание уделяется использованию лесосечных отходов после завершения заготовки древесины [1]. Традиционно существенный объем работ связанных со сбором и транспортировкой лесосечных отходов выполнялся на основе использования ручного труда. Однако на данном этапе развития культуры производства на смену ручному труду приходят лесные машины различного назначения. Так при проведении лесозаготовительных работ на основе применения системы машин «харвестер – форвардер» лесосечные отходы могут укладываться в кучи или валы вдоль трелевочного волока [2]. При использовании на валке бензиномоторного инструмента существует необходимость сбора порубочных остатков в валы или кучи на основе применения ручного труда или специализированных машин (если заготовка осуществляется без сохранения подроста). В соответствии с требованиями валы отходов лесозаготовок следует располагать параллельными рядами на расстоянии 15-25 м друг от друга в зависимости от захламленности лесосеки, а крайние валы не должны быть ближе 15 м от границ лесосеки. При этом валы следует размещать в основном на волоках и по границам пазов, а их концы не должны располагаться ближе 8-10 м от стены леса. При этом последующая транспортировка лесосечных отходов может осуществляться как широко распространенными прицепными погрузочно-транспортными машинами и форвардерами, так и узкоспециализированными транспортировщиками лесосечных отходов, имеющими существенные конструктивные особенности [3-6]. Эффективность их применения в значительной степени зависят как от примененных технических решений, так и от ряда природно-производственных факторов.

Основным оценочным критерием эффективности эксплуатации лесных машин является сменная производительность, которую необходимо оценивать

в плотных метрах кубических. Это позволит применить полученные расчетные значения для установления энергетического потенциала транспортируемых лесосечных отходов.

**Методика.** В общем случае на сменную производительность машин для транспортировки лесосечных отходов оказывают влияние следующие факторы:

– производственные: продолжительность смены ( $T$ ); время на выполнение подготовительно-заключительных операций ( $t_{н-з}$ ); использования рабочего времени и технической готовности машин на основе соответствующих  $\varphi_{рв}$  и  $\varphi_{тг}$ .

– технические и конструктивные: объем грузовой платформы ( $V$ ); конструктивные особенности грузовой платформы, учитывающие возможность использования геометрической вместимости платформы и обеспечения уплотнения лесосечных отходов через коэффициенты  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ ; конструктивные особенности базового шасси и установленного технологического оборудования, оказывающие влияние на затраты времени ( $T_{под}$ ) при подготовке машины к погрузке (разгрузке), учитывая время на подъем и опускание аутригеров (при их наличии), открытие бортов (при установке подвижных, гидруправляемых бортов), уплотнение лесосечных отходов (зависит от метода уплотнения), переезды машины при погрузке лесосечных отходов с одной технологической стоянки на другую.

Среди других факторов, также оказывающих непосредственное влияние на производительность машины для транспортировки лесосечных отходов является коэффициент полнодревесности  $\varphi_3$  разбросанных лесосечных отходов, зависимость которого от различных факторов изучалась Федоренчиком А.С., Леоновым Е.А. и др. [7].

При этом в общем случае технологический цикл работы машины для транспортировки лесосечных отходов будет также включать: затраты времени на рабочие и холостые ходы, которые зависят от среднего расстояния трелевки, почвогрунтовых условий, скоростей рабочего и холостого хода; время работы гидроманипулятора при погрузке и разгрузке грузовой платформы. При этом на продолжительность работы гидроманипулятора существенное влияние будет оказывать количество циклов его работы на каждой технологической стоянке  $n_1$  и количество необходимых для наполнения грузовой платформы переездов  $n$ . Количество рабочих циклов гидроманипулятора  $n_1$  на одной технологической стоянке определяется исходя из объема лесосечных отходов располагающихся на одной технологической стоянке  $V_1$  и в грейфере  $V_2$  по формуле 1:

$$n_1 = \frac{V_1}{V_2}. \quad (1)$$

При этом объем лесосечных отходов в грейфере  $V_2$  зависит от площади поперечного сечения (зева) захвата  $S$ , средняя длина отходов  $l_{омх}$  и коэффициента полнодревесности  $\varphi_3$  и определяется как:

$$V_2 = S \cdot \varphi_3 \cdot l_{омх}. \quad (2)$$

Учитывая проведение лесосечных работ в различных природно-производственных условиях количество необходимых для наполнения грузовой платформы переездов  $n$  можно определить по формуле 3:

$$n = \frac{V_p}{V_1} = \frac{V \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3}{V_1} \quad (3)$$

Данное выражение учитывает среднюю нагрузку на рейс машины  $V_p$ , зависящую от объема грузовой платформы  $V$ , степени уплотнения лесосечных отходов полндревесности  $\varphi_2$  и их полндревесности  $\varphi_3$ , а также объем лесосечных отходов, располагающихся на одной технологической стоянке  $V_1$ .

На объем образования лесосечных отходов на лесосеке и отдельной технологической стоянке влияют множество факторов: система машин, объем заготовки, время года, породный состав древостоя, вид рубки и др. Норматив образования ресурсов лесосечных отходов для различных пород представлены в исследованиях Григорьева И.В. и Валяженкова В.Д. [8]. Учитывая данный факт Матвейко А.П. было предложено осуществлять корректировку запаса отходов путем введения коэффициента  $\varphi_4$ , учитывающего долю образующихся отходов в зависимости от породного состава насаждений [9]. Учитывая вышеизложенное, а также тот факт, что на объем лесосечных отходов  $V_1$  существенное влияние оказывает таксационное описание лесосеки и технология проведения рубок леса (в том числе интенсивности  $i$ ) данный параметр предложено определять по следующей зависимости:

$$V_1 = L_{mc} \cdot n_{nac} \cdot B \cdot q \cdot i \cdot \varphi_4 \cdot 10^{-4} \quad (4)$$

В данном выражении расстояние между технологическими стоянками  $L_{mc}$  зависит от способа укладки сучьев и параметров гидроманипулятора. Так при погрузке из вала данная величина соответствует максимальному вылету гидроманипулятора, а при погрузке из куч – среднему расстоянию между кучами. Остальные составляющие учитывают количество пасек с которых осуществляется сбор сучьев  $n_{nac}$ , их ширину  $B$ , а также ликвидный запас древесины  $q$ , интенсивность рубки  $i$  и долю образующихся лесосечных отходов  $\varphi_4$ .

В конечном итоге сменную производительность машин для транспортировки лесосечных отходов можно определить по формуле 5:

$$П_{см} = \frac{(T - t_{n-3}) \cdot \varphi_{pв} \cdot \varphi_{mз} \cdot V \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3}{(n + 1) \cdot [T_{nod} + n_1 \cdot (1 + \frac{1}{\varphi_2}) \cdot T_{эм}] + t_{xx} + t_{px}} \quad (5)$$

Оценка результатов полученных по разработанной методике и установленных на основании проведенных экспериментальных исследований

[10, 11] в ГЛХУ «Пружанский лесхоз» показала, что относительная погрешность не превышает 8,5%. При этом было установлено, что среди рассмотренных природно-производственных факторов и особенностей конструкций применяемых машин для транспортировки лесосечных отходов на их эффективность (производительность) наибольшее влияние оказывают: степень уплотнения лесосечных отходов, среднее расстояние трелевки, объем грузовой платформы, ширина очищаемой от лесосечных отходов полосы (при сборе с нескольких пазек). При этом ликвидный запас древесины, породный состав и другие факторы оказывают существенно меньшее влияние.

**Заключение.** Разработанная методика позволяет производить оценку эффективности применения машин для транспортировки лесосечных отходов различных конструкций (форвардеры, прицепные погрузочно-транспортные машины, специализированные машины и съемное технологическое оборудование) и нормирование работ связанных с транспортировкой лесосечных отходов, определять потенциальный объема лесосечных отходов образующихся в месте их складирования в течение смены, а также производить предварительную оценку внедрения принятых технических решений на основе их влияния на сменную производительность. При этом дальнейшее развитие машин для транспортировки лесосечных отходов должно вестись по направлению увеличения степени уплотнения лесосечных отходов с учетом возможности организации быстрой смены технологического оборудования.

### Библиографический список

1. Никитин К.А., Войнаш С.А., Лучинович А.А. Актуальность переработки отходов лесной промышленности для защиты экологической системы // Машиностроение: Новые концепции и технологии: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2019. – С. 281-283.

2. Кононович Д.А. Разработка ресурсосберегающих технологий очистки лесосек на основе применения комплекса машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов // Состояние и перспективы развития лесного комплекса в странах СНГ Материалы Международной научно-технической конференции в рамках Международного молодежного форума по лесопромышленному образованию (Лес-Наука-Инновации-2018). – 2018. – С. 41-44.

3. Перспективный комплекс машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов / Мохов С. П. [и др.] // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф; г. Минск, 26–28 апр. 2017 г. – С. 178-181.

4. Войнаш А.С., Войнаш С.А. Гусеничный форвардер с системой пакетной выгрузки лесоматериалов // Строительные и дорожные машины. – 2012. – № 9. – С.13-16.

5. Войнаш С.А., Войнаш А.С. Система унифицированных машин на базе гусеничного форвардера ЛЗ-5 // Строительные и дорожные машины. – 2013. – № 12. – С.6-9.

6. Войнаш С.А., Войнаш А.С. Исследование тяговой динамики гусеничного трактора-самосвала // Тракторы и сельхозмашины. – 2017. – № 12. – С.32-36.

7. Ледницкий А. В., Леонов Е. А., Федоренчик А. С. Определение коэффициентов полндревесности отходов лесозаготовок // Труды БГТУ. Серия II. Лесная и деревообрабатывающая промышленность, Минск, 2008, Вып. XVI. – С. 57-60.

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

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

10. Д. А. Кононович, С. П. Мохов, С. Е. Арико. Исследовательские испытания комплекса машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов // Материалы международной научно-технической конференции молодых ученых «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии», 26-27 апр. 2018, Могилев: Белорус.-Рос. ун-т. – С. 209-210.

11. Кононович Д. А. Результаты экспериментальных исследований машины для транспортировки лесосечных отходов // Труды БГТУ. 2019. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. – № 1. – С. 118-125.

УДК 661.183.2

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ПЕЛЛЕТ**

М.А. Газизов, магистрант  
Д.Ф. Сулейманова, магистрант  
Д.Р. Гумеров, магистрант  
Л.И. Гизатуллина, магистрант  
Д.А. Ахметова, к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Ул. Карла Маркса, 68, Казань, 420015, Российская Федерация  
E-mail: pdm\_d@list.ru

*В статье представлены результаты исследований технологии производства пеллет. Данная технология может использоваться при решении проблем утилизации древесных отходов.*

*Ключевые слова: пиллеты, гранулы, отходы, древесина.*

## **TECHNOLOGY FOR PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON FROM WOOD PELLETS**