

УДК 630*31

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

Белорусский государственный технологический университет

**РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
КОМПЛЕКСА МАШИН ДЛЯ СБОРА И ТРАНСПОРТИРОВКИ
ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ**

В статье рассмотрен анализ эффективности применения комплекса машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов в зависимости от различных природно-производственных условий. При определении эффективности комплекса машин рассматривались технологии очистки лесосек без сохранения подроста после бензиномоторных пил, без сохранения подроста с применением харвестера и с сохранением подроста с применением харвестера. С использованием разработанной методики на основании проведенных исследований и испытаний получены зависимости изменения производительности комплекса машин от породного состава, ширины очищаемой от лесосечных отходов полосы, ширины захвата оборудования, максимального вылета манипулятора, устанавливаемого на машину для транспортировки лесосечных отходов, степени уплотнения лесосечных отходов, а также среднего расстояния трелевки. В качестве наиболее типичных насаждений рассматривались широко встречающиеся в условиях Республики Беларусь с учетом преобладающих пород. Проведены исследования по изучению влияния класса тяги базового шасси на производительность машины для сбора лесосечных отходов. При проведении исследований учитывается вид рассматриваемых шасси. Они являются полноприводными, что позволяет им полностью реализовывать свои тяговые свойства.

Ключевые слова: технология, комплекс машин, ликвидный запас, породный состав, гидроманипулятор, трелевка, уплотнение, технологическое оборудование.

S. Ye. Ariko, D. A. Kononovich, S. P. Mokhov

Belarusian State Technological University

**RESULTS OF ANALYSIS OF THE EFFICIENCY
OF APPLICATION COMPLEX MACHINES
FOR COLLECTION AND TRANSPORTATION FOREST RESIDUES**

The article considers the analysis of the effectiveness of the use of a complex of machines for collecting and transporting logging waste, depending on various environmental and production conditions. In determining the effectiveness of the complex of machines, technologies for clearing cutting areas without preserving after gas saws, without preserving under harvesting using a harvester and preserving undergrowth using a harvester were considered. Using the developed methodology on the basis of the research and testing, the dependences of changes in the performance of the machine complex depending on the breed composition, width of the strip being cleaned from logging waste, width of equipment capture, maximum reach of the manipulator mounted on the machine for transporting logging waste, degree of compaction of logging waste as well as the average distance skidding. The most typical plantations were considered widely found in the conditions of the Republic of Belarus, taking into account the prevailing species. Studies have been conducted to study the effect of the basic chassis thrust class on the performance of the machine for collecting logging waste. When conducting research, the type of chassis under consideration is taken into account. They are all-wheel drive, which allows them to fully realize their traction properties.

Key words: technology, complex of machines, liquid stock, breed composition, hydromanipulator, skidding, sealing, technological equipment.

Введение. В настоящее время на лесозаготовительных предприятиях республики существует проблема очистки лесосек от лесосечных отходов после завершения заготовки древесины. Для реализации поставленной задачи разработаны опытные образцы машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов. Эффективность их применения в составе комплекса зависит от ряда природно-производственных факторов.

При этом основным оценочным параметром, позволяющим оценить эффективность работы каждой из машин в отдельности, является их производительность [1–4]. Особенность оценки работы 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 по разработанной методике для наиболее распространенных условий эксплуатации данных машин произведены исследования по определению эффективности применения комплекса машин на основе сопоставления их производительностей, приведенным к плотным метрам кубическим лесосечных отходов, по следующим технологиям очистки лесосек:

- технология очистки лесосек после проведения сплошных рубок бензиномоторными пилами;
- технология очистки лесосек после сплошных рубок без сохранения подроста с применением валочно-сучкорезно-раскряжевой машины;

- технология очистки лесосек после сплошных рубок с сохранением подроста с применением валочно-сучкорезно-раскряжевой машины.

Данный подход является оптимальным ввиду возможности применения полученных результатов как для повышения эффективности работы комплекса машин, так и для определения потенциального объема лесосечных отходов.

Основная часть. В случае применения комплекса машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов при *разработке лесосек без сохранения подроста бензиномоторными пилами* с заготовкой сортиментов на пасеке лесосечные отходы собираются в валы подборщиком. Далее технологический процесс включает их транспортировку на промежуточный склад. При этом машина для сбора лесосечных отходов может двигаться челночно, чередуя рабочих и холостой ходы.

В соответствии с разработанной методикой на основании данных проведенных исследований и испытаний получены зависимости изменения сменной производительности машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов от следующих 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, расположенных на транспортировщике лесосечных отходов, среднего расстояния трелевки [5, 6].

В качестве наиболее типичных насаждений рассматривались насаждения: 6СЗБ1Е, которые широко встречаются в условиях Республики Беларусь с учетом преобладающих пород, 9С1Б – типичные хвойные насаждения, 5СЗЕ2Б – типичные смешанные насаждения (рис. 1).

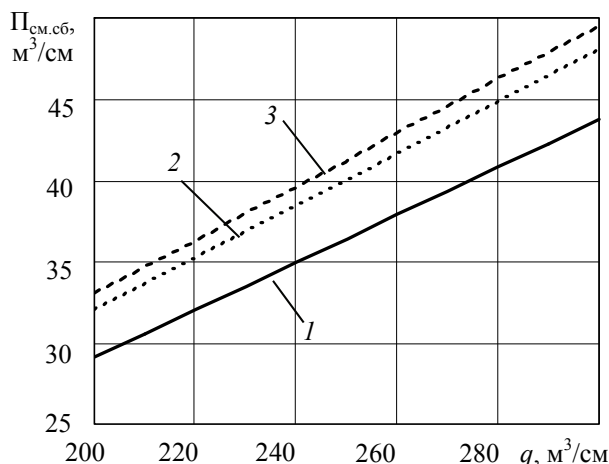


Рис. 1. Изменение сменной производительности машины для сбора лесосечных отходов от породного состава после применения технологии заготовки древесины бензиномоторными пилами: 1 – 6СЗБ1Е; 2 – 9С1Б; 3 – 5СЗЕ2Б

Рассматривая эксплуатацию машины для транспортировки лесосечных отходов, учитывалось, что за счет применения гидроуправляемых бортов происходит уплотнение лесосечных отходов в 1,5 раза. При этом характер изменения производительности от породного состава и ликвидного запаса древесины имеет аналогичный характер. Так, при эксплуатации в насаждениях с породным составом 5СЗЕ2Б по сравнению с составом насаждений 6СЗБ1Е происходит увеличение производительности (рис. 2), однако она не так существенна и составляет 0,5–0,8% в зависимости от ликвидного запаса древесины. Это в первую очередь связано с тем, что производительность данной машины в большей степени зависит от технологии проведения рубок и организационных факторов, которые будут рассматриваться ниже.

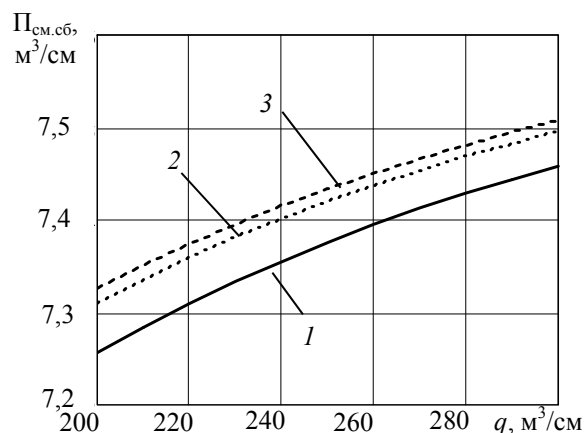


Рис. 2. Изменение сменной производительности машины для транспортировки лесосечных отходов от породного состава после применения технологии заготовки древесины бензиномоторными пилами: 1 – 6СЗБ1Е; 2 – 9С1Б; 3 – 5СЗЕ2Б

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

Зависимости изменения производительностей рассматриваемых машин от ширины оборудования для сбора лесосечных отходов при выполнении технологических операций в насаждениях с породным составом 6СЗБ1Е и ликвидным запасом 267 м³/га, что соответствует запасу в спелых насаждениях, представлены на рис. 3. Полученные зависимости указывают на тот факт, что за счет увеличения ширины технологического оборудования машины для сбора лесосечных отходов достигается увеличение производительности, причем имеет место прямая пропорциональная зависимость.

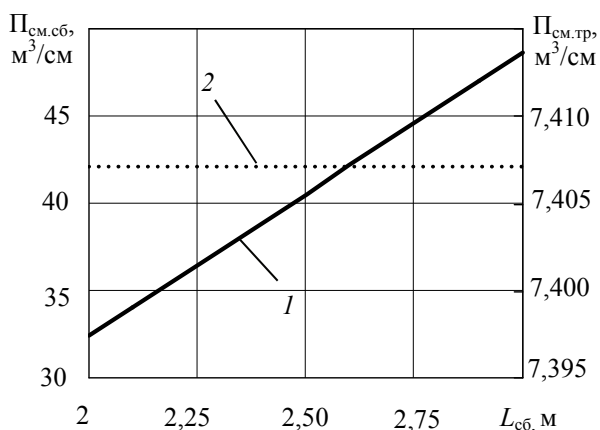


Рис. 3. Влияние ширины оборудования для сбора лесосечных отходов на производительность машин для их сбора и транспортировки после применения технологии заготовки древесины бензиномоторными пилами: 1 – машина для сбора лесосечных отходов; 2 – машина для транспортировки лесосечных отходов

Так, увеличение ширины технологического оборудования с 2 до 3 м приводит к увеличению производительности в полтора раза (с 32,4 до 48,6 м³/см). Следует отметить, что производительность машины для транспортировки лесосечных отходов при этом практически не изменяется, так как в данном случае концентрация лесосечных отходов и длина вала остаются неизменными, а лишь сокращаются затраты времени на выполнение данных операций.

К параметрам, не влияющим на производительность машины для сбора лесосечных отходов, относятся вылет гидроманипулятора (рис. 4) машины для транспортировки лесосечных отходов, степень их уплотнения подвижными бортами, а также среднее расстояние трелевки. Это обусловлено тем, что сбор лесосечных отходов в валы осуществляется последовательно по всей площади, при этом данная операция выполняется до начала работ по транспортировке.

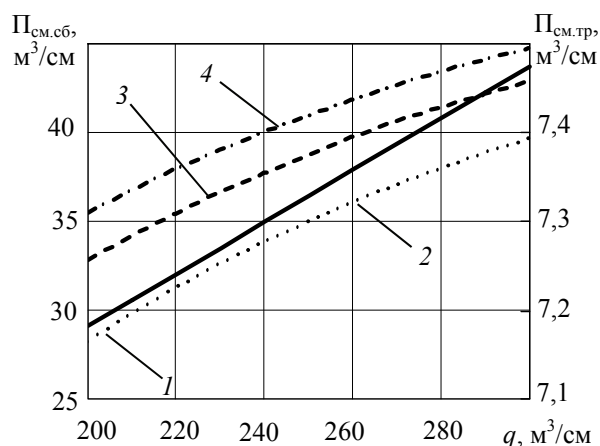


Рис. 4. Влияние вылета гидроманипулятора на производительность машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов после применения технологии заготовки древесины бензиномоторными пилами: 1 – машина для сбора лесосечных отходов; 2 – 5,55 м; 3 – 6,5 м; 4 – 7,2 м

При исследовании влияния вылета гидроманипулятора на производительность комплекса рассматривалась возможность установки на погрузочно-транспортных машинах гидроманипуляторов с вылетом 5,55 м (ГМ-42), 6,5–6,7 м (PALMS 665 и PRIMERO 3967) и 7,2 м (ГМ-50) [35]. Установлено (рис. 5), что наиболее эффективным является применение гидроманипулятора ГМ-50, так как в данном случае в зависимости от ликвидного запаса древесины обеспечивается увеличение производительности машины для транспортировки лесосечных отходов на 1,3–2% по сравнению с гидроманипулятором ГМ-42.

Более существенным фактором, оказывающим влияние на эффективность применения машины для транспортировки лесосечных отходов является степень их уплотнения подвижными бортами. При исследовании рассматривались три случая:

- транспортировка отходов с закрытыми бортами без уплотнения;
- транспортировка отходов с закрытием бортов после наполнения грузовой платформы

(степень уплотнения 1,2). Данный вариант применяется в случае значительной концентрации лесосечных отходов, обеспечивающих наполнение платформы с одной технологической стоянки;

– транспортировка отходов со степенью уплотнения 1,75, что соответствует случаю наполнения платформы с 6–8 технологических стоянок.

Более высоких показателей степени уплотнения (до 3) можно достигнуть за счет дополнительного закрытия и открытия бортов на каждой стоянке, однако при этом увеличивается время технологического цикла, а также усложняется процесс разгрузки, либо при достаточно низкой концентрации лесосечных отходов, когда количество переездов может достигать 15 и более (транспортировка лесосечных отходов осуществляется без их предварительного сбора в валы). Наиболее типичным является изменение степени уплотнения в диапазоне 1,5–1,75 (в рассмотренных ранее и ниже исследованиях принимался коэффициент уплотнения 1,5).

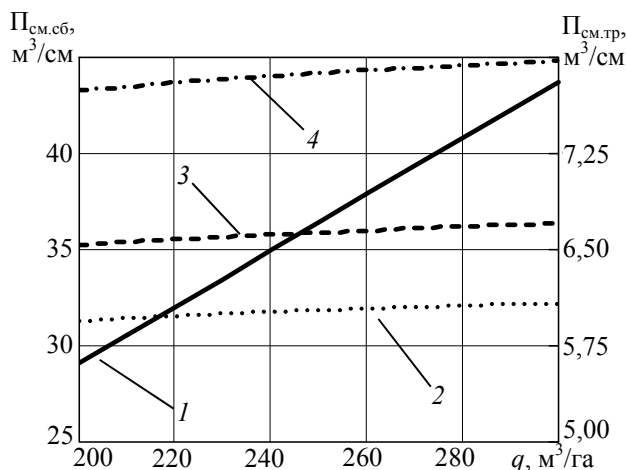


Рис. 5. Влияние степени уплотнения лесосечных отходов на производительность машин для их сбора и транспортировки после применения технологии заготовки древесины бензиномоторными пилами:
1 – машина для сбора лесосечных отходов;
2 – без уплотнения; 3 – с уплотнением в 1,2 раза;
4 – с уплотнением в 1,75 раза

Представленные на рис. 5 результаты исследований свидетельствуют о том, что при уплотнении лесосечных отходов в 1,2 раза обеспечивается увеличение производительности машины для транспортировки лесосечных отходов на 10%, в 1,75 раза – на 30%. Это свидетельствует о существенной эффективности применения предложенной конструкции машины для транспортировки лесосечных отходов.

Следует отметить, что еще одним фактором, оказываемым существенное влияние на производительность транспортировки лесосечных отходов с лесосеки на погрузочный пункт, является среднее расстояние трелевки. Учитывая, что машина для транспортировки лесосечных отходов движется по трелевочным волокам, по которым осуществляется трелевка (подвоз) сортиментов погрузочно-транспортными машинами, то среднее расстояние трелевки для данных машин будет определяться так же, как для форвардера. Для наглядного представления результатов исследований нами рассматривались случаи транспортировки отходов на расстояния 150, 300 и 500 м (рис. 6).

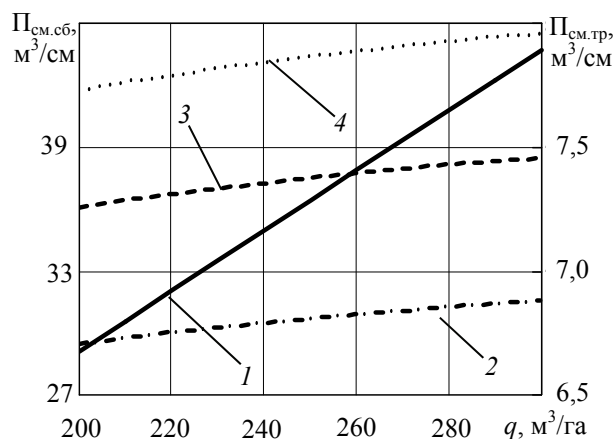


Рис. 6. Влияние среднего расстояния трелевки на производительность машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов после применения технологии заготовки древесины бензиномоторными пилами:
1 – машина для сбора лесосечных отходов;
2 – 500 м; 3 – 300 м; 4 – 150 м

Исследования подтвердили общие тенденции в необходимости снижения среднего расстояния трелевки для повышения эффективности применения машин для транспортировки различного вида лесоматериалов. Так, в данном случае снижение расстояния трелевки с 300 до 150 м обеспечивает увеличение производительности на 6,5–6,7%. В случае же снижения расстояния трелевки с 500 до 150 м производительность может увеличиться в 1,15–1,16 раза.

Машина для сбора лесосечных отходов при проведении сплошных рубок без сохранения подроста с применением механизированного сортиментного метода заготовки древесины на основе системы валочно-сучкорезно-раскряжевой (харвестер) и погрузочно-транспортной (форвардер) машин может осуществлять увеличение формируемого

вала за счет перемещения одного или двух соседних валов. При этом в образующемся валу объем лесосечных отходов увеличится в 2–3 раза. Сопоставляя результаты полученных исследований по данной и рассмотренным ранее технологиям, следует отметить, что характер кривых, отражающих зависимость производительности от породного состава не изменился [7, 8].

Что касается полученных значений, то, несмотря на работу машины для сбора лесосечных отходов после системы «валочно-сучкорезно-раскряжевочная машина (харвестер) – погрузочно-транспортная машина (форвардер)», ее производительность увеличивается в 1,94 раза, а не отличается на порядок, как это было при работе по технологии с сохранением подроста. При этом наблюдается снижение производительности машины для транспортировки лесосечных отходов на 1,9–3,2%.

Сравнивая результаты работы комплекса машин при организации транспортировки лесосечных отходов из вала, сформированного из отходов с двух или трех соседних пасек, установлено, что более эффективным является последний, так как в данном случае эксплуатационные затраты на очистку лесосеки являются аналогичными, а производительность машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов увеличивается в 1,5 и 1,01–1,02 раза соответственно.

В результате исследований установлено, что аналогично работе по технологии с применением бензиномоторных пил для получения сортиментов в рассматриваемом случае такие параметры как ширина технологического оборудования машины для сбора лесосечных отходов и вылет гидроманипулятора машины для транспортировки лесосечных отходов, оказывают влияние на производительность лишь тех машин, на которых они установлены. При этом увеличение ширины обрабатываемой полосы с 2 до 3 м позволяет увеличить производительность на операции по формированию вала лесосечных отходов в 1,5 раза. Установка же гидроманипулятора ГМ-50 вместо ГМ-42 обеспечивает увеличение производительности при транспортировке лесосечных отходов на 0,9–1,2%.

К параметрам, которые не оказывают влияния на производительность машины для сбора лесосечных отходов и, наоборот, являются одними из определяющих при установлении производительности машины для транспортировки отходов, относятся степень их уплотнения подвижными бортами (рис. 7) и среднее расстояние трелевки.

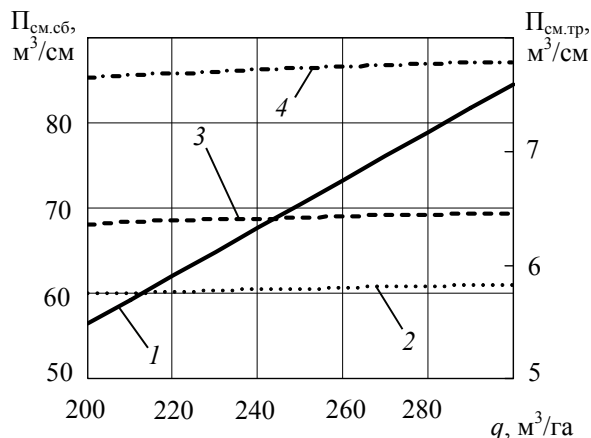


Рис. 7. Влияние степени уплотнения лесосечных отходов на производительность машин для их сбора и транспортировки после применения технологии заготовки древесины харвестером без сохранения подроста:
1 – машина для сбора лесосечных отходов;
2 – без уплотнения, 3 – с уплотнением в 1,2 раза,
4 – с уплотнением в 1,75 раза

В случае уплотнения отходов в 1,2 раза обеспечивается увеличение производительности при транспортировке лесосечных отходов на 10,7–10,9%, а при уплотнении в 1,75 раза – на 33,1–33,7%.

При снижении среднего расстояния трелевки (рис. 8) с 500 до 300 м достигается увеличение производительности машины для транспортировки лесосечных отходов на 11,2–11,4%, а при уменьшении до 150 м – на 21,5–22,9%.

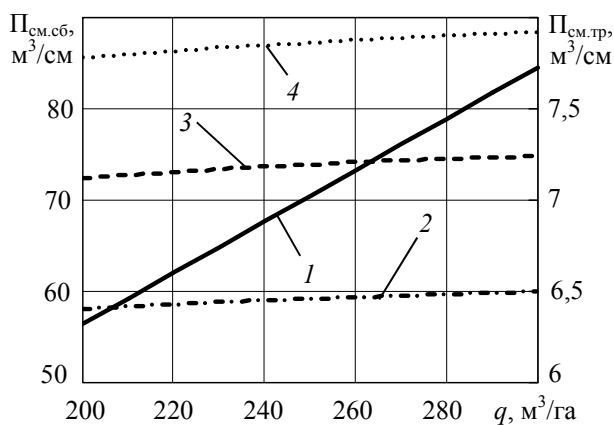


Рис. 8. Влияние среднего расстояния трелевки на производительность машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов после применения технологии заготовки древесины харвестером без сохранения подроста:
1 – машина для сбора лесосечных отходов;
2 – 500 м; 3 – 300 м; 4 – 150 м

Технология сбора лесосечных отходов с сохранением подроста имеет отличительную особенность. Отходы собираются не в валы по-

перечными движениями, как в технологии без сохранения подроста, а в кучи, расположенные рядом с волоком на полосе шириной до 2 м параллельными волоку ходами трактора. Количество формируемых куч вдоль одного волока зависит, в первую очередь, от таксационных показателей лесосеки (породный состав, запас древесины на 1 га и пр.) и ширины пасаки [9, 10].

Аналогично рассмотренному выше примеру были проведены исследования влияния ряда факторов на производительность машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов. Сравнивая полученные результаты следует отметить, что в целом характер зависимостей остался прежним, однако при этом за счет применения технологии заготовки сортиментов на основе системы машин «харвестер – погрузочно-транспортная машина (форвардер)» вместо «бензиномоторная пила – погрузочно-транспортная машина (форвардер)» обеспечивается дополнительное увеличение производительности машины для сбора лесосечных отходов в 9,1–11,3 раза при породном составе 5С3Е2Б и в 8,4–10,6 раза – при составе 6С3Б1Е. Причем прирост производительности увеличивается со снижением ликвидного запаса древесины и в рассматриваемом случае является максимальным при запасе 200 м³/га. Это обусловлено тем, что концентрация лесосечных отходов в валах снижается, а соотношение между рабочим и холостым ходом возрастает. И наоборот, при увеличении ликвидного запаса концентрация лесосечных отходов в валах увеличивается и расстояние между кучами снижается, так как оно ограничивается тягово-сцепными свойствами машины, при этом отношение расстояния рабочего хода к холостому уменьшается. В свою очередь производительность машины для транспортировки лесосечных отходов существенно не изменяется [11–14].

При рассмотрении технологического процесса комплекса машин после работы харвестера с односторонней укладкой сортиментов, а соответственно и лесосечных отходов было установлено (рис. 9), что производительность машины для сбора лесосечных отходов с увеличением ширины пасаки также увеличивается. Причем характер зависимости аналогичен рассмотренному, при этом величина производительности на порядок выше. Увеличение ширины лесосеки с 15 до 20 м позволяет увеличить производительность машины на 14,4%, а с 15 до 25 м – на 25,3%.

Особенностью работы харвестера является возможность двухсторонней укладки сортиментов, при этом лесосечные отходы располагаются по обе стороны от трелевочного волока, что при прочих равных условиях снижает кон-

центрацию отходов в валах и приводит к необходимости формирования куч за счет прохождения машины для сбора лесосечных отходов дважды вдоль одного трелевочного волока, что в конечном итоге снижает производительность данной машины в 1,38–1,51 раза, а также ведет к незначительному снижению эффективности машины для транспортировки лесосечных отходов (0,4–0,7%) [15].

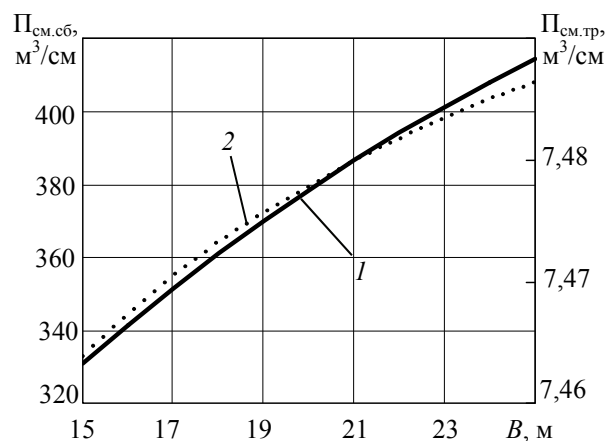


Рис. 9. Влияние ширины очищаемой от лесосечных отходов полосы на производительность машин для их сбора и транспортировки после применения технологии заготовки древесины харвестером с сохранением подроста:
1 – машина для сбора лесосечных отходов;
2 – машина для транспортировки лесосечных отходов

В результате исследования влияния ширины технологического оборудования машины для сбора лесосечных отходов на производительность машин, входящих в состав комплекса, было установлено, что данный параметр, хоть и является одним из основных, не влияет на производительность машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов. Это связано с тем, что формирование куч осуществляется за один проход технологического оборудования и при этом ширина образующейся кучи не превышает ширину технологического оборудования, минимальное значение которой составляет в расчетных исследованиях 2 м, а в реальных условиях эксплуатации более 2,4 м и соответствует ширине базового шасси.

Исследованиями (рис. 10) было установлено, что при данной технологии сбора лесосечных отходов вылет гидроманипулятора машины для их транспортировки не оказывает влияния на эффективность применения комплекса, так как кривые изменения производительностей машины для транспортировки отходов при условии установки гидроманипуляторов с различными вылетами наложились друг на друга.

Это связано с тем, что фактором, который определяет расстояние между технологическими стоянками, является уже не зона досягаемости гидроманипулятора, а расстояние между кучами лесосечных отходов, которое больше вылета гидроманипулятора.

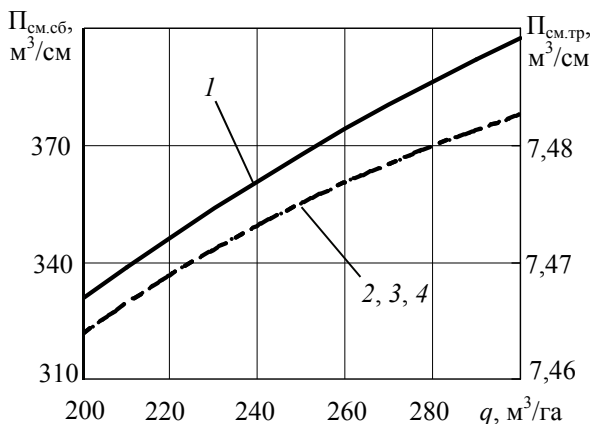


Рис. 10. Влияние вылета гидроманипулятора и ликвидного запаса на производительность машин для сбора (1) и транспортировки лесосечных отходов после применения технологий заготовки древесины харвестером с сохранением подроста: 2 – 5,55 м; 3 – 6,5 м; 4 – 7,2 м

Особый интерес вызывают исследования, посвященные изучению влияния класса тяги базового шасси на производительность комплекса (рис. 11). При проведении расчетов учитывалось, что рассматриваемые шасси являются полноприводными.

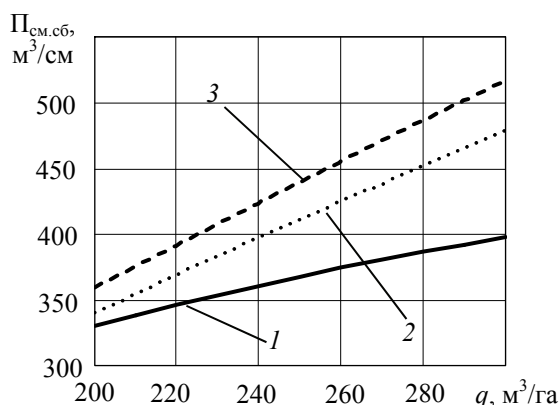


Рис. 11. Влияние тягового класса базового шасси машины для сбора лесосечных отходов на ее производительность: 1, 2, 3, – тяговый класс 1,4, 2,0, 3,0 соответственно

Установлено, что применение базового шасси более высокого класса тяги позволяет увеличить производительность машины при осуществлении формирования куч лесосечных отходов до 20,3 и 30,1% при эксплуатации шасси тяговых классов соответственно 2,0 и 3,0

вместо 1,4, который рассматривается как базовый. Это связано с возможностью реализации большего рабочего хода по отношению к холостому. При этом применение данных шасси в качестве базовых также увеличивает производительность машины для их транспортировки.

В соответствии с полученными зависимостями установлено, что применение в качестве базового шасси классов 2,0 и 3,0 для машины, осуществляющей сбор лесосечных отходов, способствует увеличению производительности машины для транспортировки лесосечных отходов на 2,6–2,8 и 4,0–4,2% соответственно. Это обеспечивается за счет снижения количества переездов и повышения концентрации отходов, так как снижаются затраты времени на открытие/закрытие бортов и опускание/подъем аутригеров.

Заключение. 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.

Анализируя полученные данные, следует сделать вывод, что на производительность комплекса машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов существенное влияние оказывают параметры, относящиеся к технологическим особенностям выполнения лесозаготовительных работ. Так, на производительность машины для сбора лесосечных отходов наиболее существенное влияние оказывает технология работы на заготовке древесного сырья. При этом применение данной машины после харвестера, осуществляющего заготовку сортиментов при односторонней их укладке, увеличивает производительность машины для сбора лесосечных отходов на порядок. Дополнительное увеличение производительности достигается за счет использования 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 их уплотнения, которая, в свою очередь, зависит от конструкции 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 данном случае лесосечные отходы будут разбросаны по всей территории лесосеки, их концентрация влияет на производительность всего комплекса. При этом технология проведения лесозаготовительных работ не оказывает существенного влияния на производительность машины для транспортировки лесосечных отходов, значение которой находится в диапазоне 5,7–8,0 м³/см. Для максимального повышения эффективности очистки лесосек от отходов, в том числе на основе применения комплекса машин, рекомендуется:

- применять разработанный комплекс на лесосеках после их разработки с использованием бензиномоторного инструмента;
- очищать в первую очередь лесосеки, имеющие наибольший ликвидный запас древесины;
- осуществлять очистку лесосек, разработанных с помощью бензиномоторного инструмента, а также при отсутствии подроста, путем формирования общего для двух пасек вала;
- при очистке лесосеки, разработанной харвестером, предпочтительным является сбор валов в кучи в отличие от формирования вала с двух или трех пасек;
- выбирать место для складирования и последующей переработки лесосечных отходов исходя из обеспечения снижения среднего расстояния трелевки.

Что касается параметров перспективного комплекса для сбора и транспортировки лесосечных отходов, то в целом они обеспечивают эффективное выполнение возложенных функций. 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 следует применять трактора тягового класса 1,4–2,0, так как дальнейшее его увеличение не приводит к существенному увеличению производительности при значительных эксплуатационных затратах;
- дальнейшее совершенствование машины для сбора лесосечных отходов может быть связано с увеличением ширины захвата технологического оборудования, с изменением данного параметра при выполнении транспортных и технологических операций;
- совершенствование машины для транспортировки лесосечных отходов должно ве-

стись по направлению увеличения степени уплотнения лесосечных отходов, данная величина должна находиться в диапазоне 1,5–1,7, что соответствует лучшим мировым аналогам соответствующего принципа работы;

- необходимо снижать вес технологического оборудования для транспортировки лесосечных отходов;

- машина для транспортировки лесосечных отходов должна оснащаться специальным грейферным захватом, при этом могут использоваться штатно установленные гидроманипуляторы с вылетом от 5,5 до 7,2 м, применение которых не оказывает влияния на производительность машины в целом;

- должна быть организована быстрая смена технологического оборудования, в том числе необходимо учесть возможность 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. Это обусловлено тем, что производительность машины на сборе лесосечных отходов в 4–8 раз выше производительности машины для транспортировки лесосечных отходов при работе по технологии очистки лесосек после проведения сплошных рубок бензиномоторными пилами.

При этом возможна организация работ, когда в течение одной-двух смен будет осуществляться сгребание отходов в валы, а последующие 4–8 смен будет осуществляться транспортировка лесосечных отходов. При работе по технологии очистки лесосек после сплошных рубок без сохранения подроста с применением валочно-сучкорезно-раскряжевой машины, разность производительностей достигает кратности 14. Следует отметить, что при формировании валов (технология очистки лесосек после сплошных рубок с сохранением подроста с применением валочно-сучкорезно-раскряжевой машины) и низкой концентрации лесосечных отходов после выполнения лесозаготовительных работ машина для транспортировки лесосечных отходов, оснащенная оборудованием для их сбора, может в процессе выполнения операций технологического цикла осуществлять формирование куч, их погрузку и транспортировку. При этом предпочтительным является соответствие объема лесосечных отходов в куче рейсовой нагрузке.

Литература

1. Жуков А. В. Теория лесных машин. Минск: БГТУ, 2001. 640 с.
2. Григорьев И. В., Валяжонков В. Д. Современные машины и технологические процессы лесосечных работ. СПб.: Темплан, 2009. 287 с.

3. Кочегаров В. Г., Бит Ю. А., Меньшиков В. Н. Технология и машины лесосечных работ. М.: Лесная пром-сть, 1990. 392 с.
4. Мохирев А. П., Зырянов М. А. Технология лесосечных работ с сортировкой порубочных остатков древесины // Системы. Методы. Технологии. 2015. № 3. С. 118–122.
5. Дербин В. М., Дербин М. В. Технология заготовки древесины с сохранением подроста // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5, № 1. С. 136–143.
6. Инновационные технологии лесосечных работ // И. Р. Шегельман [и др.]. Петрозаводск: Verso, 2016. 134 с.
7. Федоренчик А. С., Ледницкий А. В. Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов. Минск: БГТУ, 2010. 446 с.
8. 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.
9. Матвейко А. П., Федоренчик А. С. Технология и машины лесосечных работ. Минск: Технопринт, 2002. 479 с.
10. Коробов В. В., Рушнов Н. П. Переработка низкокачественного древесного сырья. М.: Экология, 1991. 288 с.
11. Результаты экспериментальных исследований машины для сбора лесосечных отходов / В. А. Коробкин [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2018. № 2. С. 182–189.
12. Шатравко В. Г., Толкачева Н. В. Исследование объемов порубочных остатков при рубках главного и промежуточного пользования в хвойных и широколиственных лесах // Труды БГТУ. 2011. № 1: Экология, лесоводство и охотничье хозяйство. С. 119–122.
13. Головков С. И., Коперин И. Ф., Найденов В. И. Энергетическое использование древесных отходов. М.: Лесная пром-сть, 1987. 224 с.
14. Матвейко А. П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства. Минск: Техноперспектива, 2006. 444 с.
15. Кононович Д. А. Технологии очистки лесосек от лесосечных отходов // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2017. № 2. С. 245–250.

References

1. Zhukov A. V. *Teoriya lesnykh mashin* [The theory of forest machines]. Minsk, BGTU Publ., 2001. 640 p.
2. Grigor'ev I. V., Valyazhonkov V. D. *Sovremennyye mashiny i tekhnologicheskiye protsessy lesosechnykh rabot* [Modern machines and technological processes logging activities]. St. Petersburg, Templan Publ., 2009. 287 p.
3. Kochegarov V. G., Bit Yu. A., Men'shikov V. N. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Technology and machines logging activities]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 392 p.
4. Mokhirev A. P., Zyryanov M. A. Logging technology with sorting of timber residues. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2015, no. 3, pp. 118–122 (In Russian).
5. Derbin V. M., Derbin M. V. Wood harvesting technology with the preservation of undergrowth. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry engineering journal], 2015, vol. 5, no. 1, pp. 136–143 (In Russian).
6. Shegel'man I. R., Laurila Ya. T., Skrypnik V. I., Galaktionov O. N. *Innovatsionnyye tekhnologii lesosechnykh rabot* [Innovative logging technology]. Petrozavodsk, Verso Publ., 2016. 134 p.
7. Fedorenchik A. S., Lednitskiy A. V. *Energeticheskoye ispol'zovaniye nizkokachestvennoy drevesiny i drevesnykh otkhodov* [Energy use of low-quality wood and wood waste]. Minsk, BGTU Publ., 2010. 446 p.
8. Kononovich D. A. Results of experimental studies machine for collection of forest residues. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, 2019, no. 1, pp. 118–125 (In Russian).
9. Matveyko A. P., Fedorenchik A. S. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Technology and machines logging activities]. Minsk, Tekhnoprint Publ., 2002. 479 p.
10. Korobov V. V., Rushnov N. P. *Pererabotka nizkokachestvennogo drevesnogo syr'ya* [Processing of low-quality wood raw materials]. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 288 p.
11. Korobkin V. A., Mokhov S. P., Kononovich D. A., Ariko S. Ye. Results of experimental studies machine for collection of forest residues. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, 2018, no. 2, pp. 182–189 (In Russian).
12. Shatravko V. G., Tolкачева N. V. Study of logging residues in the main and intermediate conditions in coniferous and deciduous forests. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU]. 2011, no. 1: Forestry, pp. 119–122 (In Russian).

13. Golovkov S. I., Koperin I. F., Naydenov V. I. *Energeticheskoye ispol'zovaniye drevesnykh otkhodov* [Energy use of wood waste]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1987. 224 p.

14. Matveyko A. P. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesozagotovitel'nogo proizvodstva* [Technology and equipment of timber production]. Minsk, Tekhnoperspektiva Publ., 2006. 444 p.

15. Kononovich D. A. Technologies cleaning cutting areas form logging waste. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, 2017, no. 2, pp. 245–250 (In Russian).

Информация об авторах

Арико Сергей Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: sergeyariko@mail.ru

Кононович Денис Александрович – ассистент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: denkon_92@mail.ru

Мохов Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lmitlz@belstu.by

Information about the authors

Ariko Sergey Yevgen'evich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sergeyariko@mail.ru

Kononovich Denis Aleksandrovich – Assistant Lecturer, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: denkon_92@mail.ru

Mokhov Sergey Petrovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lmitlz@belstu.by

Поступила 15.03.2019