

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ МОБИЛЬНОЙ РУБИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ С МЯГКИМИ КОНТЕЙНЕРАМИ

С.П. Карпачев, В.И. Запруднов, М.А. Быковский

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

karpachevs@mail.ru

Рассматривается усовершенствованная технология производства топливной щепы на лесосеке. Для ликвидации простоев на операциях с перегрузкой щепы из прицепа-бункера в съемный кузов, рубительная машина снабжена специальным мягким контейнером-вкладышем, который размещается в прицепе-бункере. Общий вид мобильной рубительной машины с прицепом-бункером, внутри которого размещен мягкий контейнер-вкладыш, представлен на рис. 2. Предлагаемый контейнер-вкладыш должен исключить простои рубительной машины при заполнении съемного кузова в отсутствие автощеповозов. Поставленная цель достигается за счет того, что щепы загружается не в прицеп-бункер, а в мягкий контейнер-вкладыш, который установлен в прицепе-бункере. Результаты исследования предлагаемой технологии на математических моделях показали, что часовая производительность рубительной машины зависит от принятой технологии. Для технологии со сброской контейнеров на погрузочную площадку производительность рубительной машины уменьшается с увеличением расстояния транспортировки щепы по лесосеке, что понятно. Для технологии со сброской контейнеров на лесосеке производительность рубительной машины не зависит от расстояния транспортировки щепы по лесосеке. Производительность рубительной машины по предлагаемым технологиям выше, чем по традиционной технологии. Самая высокая производительность рубительной машины по предлагаемой технологии со сброской контейнеров со щепой на лесосеке, что объясняется отсутствием простоев рубительной машины на площадке. Производительность рубительной машины по предлагаемым технологиям не зависит от количества автощеповозов, что также является преимуществом предлагаемых технологий по сравнению с традиционной технологией.

Ключевые слова: биоэнергетика, мобильная рубительная машина, щепы

Ссылка для цитирования: Карпачев С.П., Запруднов В.И., Быковский М.А. Моделирование работы мобильной рубительной машины с мягкими контейнерами // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 3. С. 79–86. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-3-79-86

Лесосечные отходы после сортиментных рубок являются дополнительным древесным сырьем, которое может быть использовано для получения биотоплива, например топливной щепы [1].

В настоящее время для производства топливной щепы из лесосечных отходов используют мобильные рубительные машины (МРМ) с прицепом-бункером (ПБ) и мягкие контейнеры (МК). Эти технологии были рассмотрены в ряде работ [2–4]. Технологическая схема работы МРМ с ПБ на лесосеке после сортиментной заготовки леса представлена на рис. 1.

После сортиментной заготовки леса на лесосеке остаются кучевые скопления из веток, сучьев, вершинок 1. Мобильная рубительная машина 2 перемещается по лесосеке и манипулятором с захватом подбирает лесосечные отходы 1, которые подает к рубительному устройству. Щепы направляется в специальный ПБ 3. После заполнения ПБ 3 щепой МРМ 2 направляется на погрузочную площадку, где щепы из ПБ 3 перегружаются в съемный кузов 4. Съемный кузов 4 после заполнения щепой забирает автощеповоз 5, работающий по системе «мультилифт».

Для достижения максимальной производительности автощеповозов число кузовов в си-

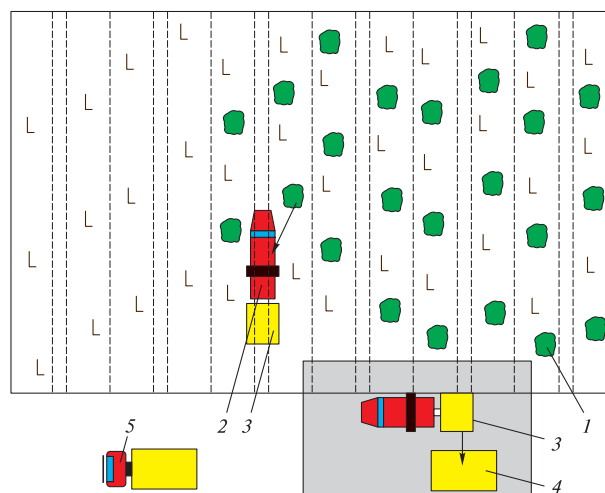


Рис. 1. Технологическая схема работы МРМ с ПБ для щепы на лесосеке после лесозаготовки: 1 — лесосечные отходы; 2 — МРМ; 3 — ПБ для щепы; 4 — съемный кузов; 5 — автощеповоз со съемным кузовом

Fig. 1. Technological workflow of MC with trailer hopper for chips in the cutting area after logging: 1 — harvesting residues; 2 — MC; 3 — trailer hopper for chips; 4 — detachable body; 5 — chip hauler set with detachable body

стеме «мультилифт» должно быть равным числу автощеповозов плюс один кузов [5–12].

Недостаток существующей технологии с использованием МРМ с ПБ заключается в том, что

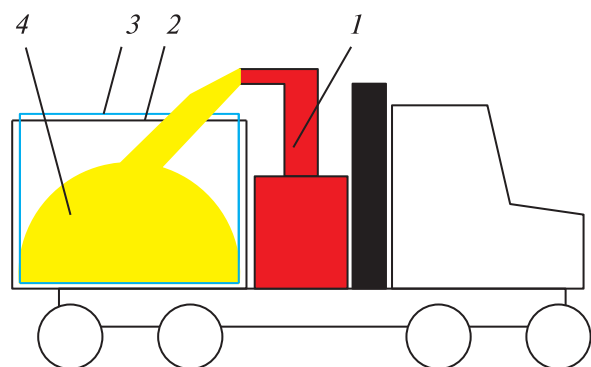


Рис. 2. Общий вид МРМ: 1 — рубильное устройство; 2 — ПБ; 3 — МК; 4 — щепа

Fig. 2. General view of MC: 1 — chipping device; 2 — trailer hopper; 3 — SC; 4 — chips

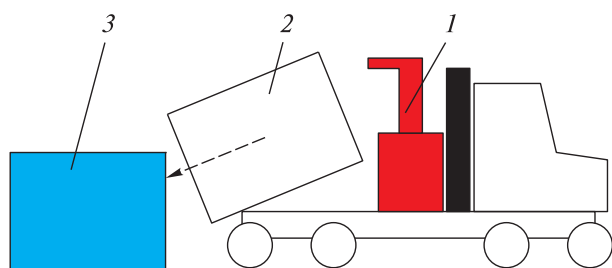


Рис. 3. Сбрасывание МК со щепой: 1 — рубильное устройство; 2 — ПБ; 3 — МК со щепой

Fig. 3. SC dropping with chips: 1 — chipping device; 2 — trailer hopper; 3 — SC with chips

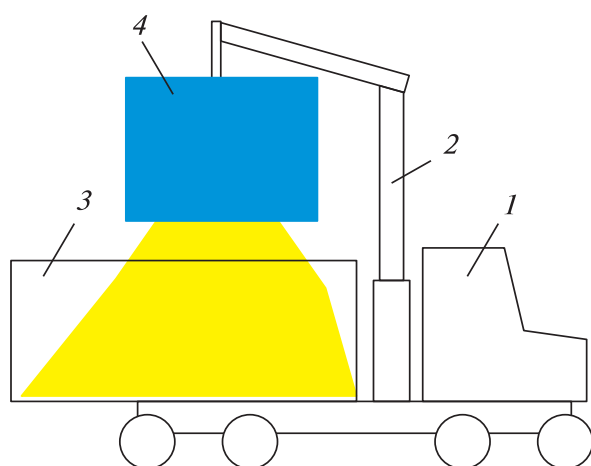


Рис. 4. Загрузка щепы из МК в кузов автощеповоза: 1 — автощеповоз; 2 — манипулятор; 3 — съемный кузов; 4 — МК со щепой

Fig. 4. Chip loading from the SC to the body of the tank truck: 1 — chip hauler set; 2 — the manipulator; 3 — detachable body; 4 — SC with chips

после заполнения съемного кузова щепой МРМ будет простаивать до прибытия автощеповоза с порожним кузовом [13–20].

Цель работы

Рассматривается усовершенствованная технология производства топливной щепы на лесосеке [2]. Для ликвидации простоев на операциях с перегрузкой щепы из ПБ в съемный кузов, МРМ снабжена специальным МК, который размещается в ПБ.

Материалы и методы

Общий вид МРМ с ПБ, внутри которого размещен МК, представлен на рис. 2.

Предлагаемый МК должен исключить простои МРМ при заполнении съемного кузова в отсутствие автощеповозов. Поставленная цель достигается за счет того, что щепа загружается не в ПБ, а в МК, который установлен в ПБ. Заполненный щепой ПБ с МК доставляется на погрузочную площадку, где МК со щепой сбрасывают на землю (рис. 3) независимо от наличия автощеповозов. Прибывающий на площадку автощеповоз загружает в свой кузов щепу из МК (рис. 4) и доставляет ее потребителю.

Технологическая схема работы МРМ с ПБ, внутри которого размещен МК, со сбрасыванием МК на погрузочной площадке представлена на рис. 5.

Мобильная рубильная машина 2 движется по лесосеке и манипулятором с захватом подбирает лесосечные отходы 1 и подает их к рубильному устройству. Полученная щепа подается в МК, который расположен на ПБ 3. После заполнения МК щепой МРМ 2 отвозит его на площадку и сбрасывает его в штабель из МК 4. После этого МРМ 2 возвращается на лесосеку. Автощеповоз 5 забирает МК 4 со щепой и отвозит их потребителю.

Предлагаемая технология позволяет еще больше повысить производительность МРМ, если МК сбрасывать на лесосеке сразу после их заполнения щепой (рис. 6). В этом случае для сбора МК со щепой с лесосеки потребуются транспортная машина. Такая технология потребует дополнительных затрат, которые в настоящей статье не рассматриваются.

Результаты и обсуждение

В рассмотренных технологиях ведущим оборудованием является МРМ. Для анализа этих технологий решено было сравнить производительность рубильного устройства по существующей (см. рис. 1) и проектируемой (см. рис. 5, 6) технологиям. Исследования проводились на математических моделях методами компьютерного моделирования [6, 11].

Технологический процесс работы МРМ с ПБ на лесосеке (см. рис. 1) был сформулирован в терминах теории массового обслуживания и схематично представлен на рис. 7.

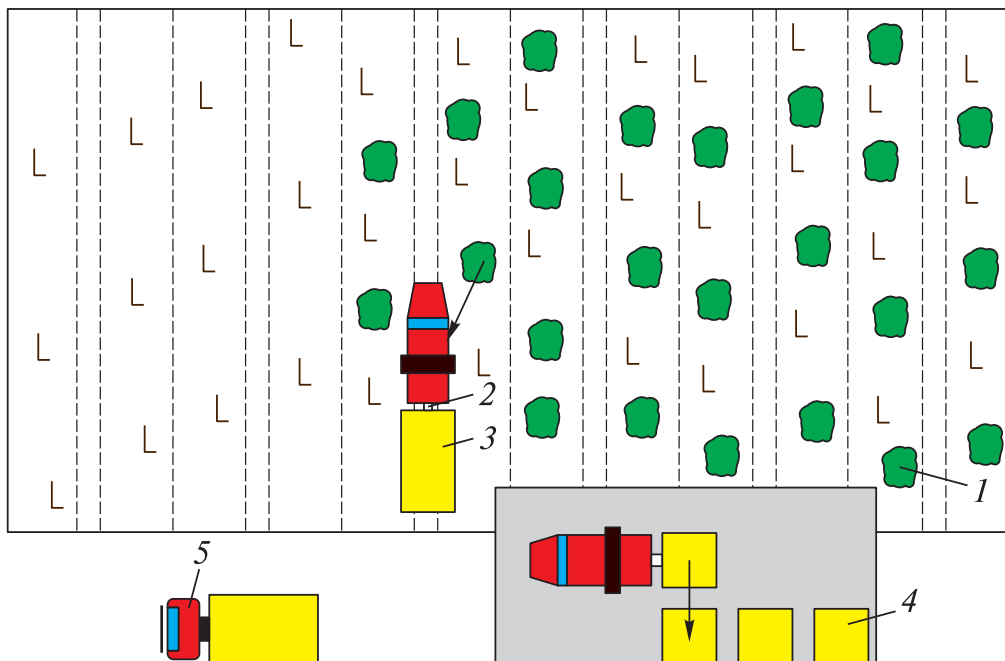


Рис. 5. Технологическая схема работы МРМ с ПБ и МК для щепы на лесосеке после лесозаготовок: 1 — лесосечные отходы; 2 — МРМ; 3 — ПБ с МК для щепы; 4 — МК со щепой; 5 — автощеповоз с МК со щепой

Fig. 5. Technological workflow of MC with trailer hopper and SC for chips in the cutting area after logging: 1 — harvesting residues; 2 — MC; 3 — trailer hopper with SC for chips; 4 — SC with chips; 5 — chip hauler stet with SC chips

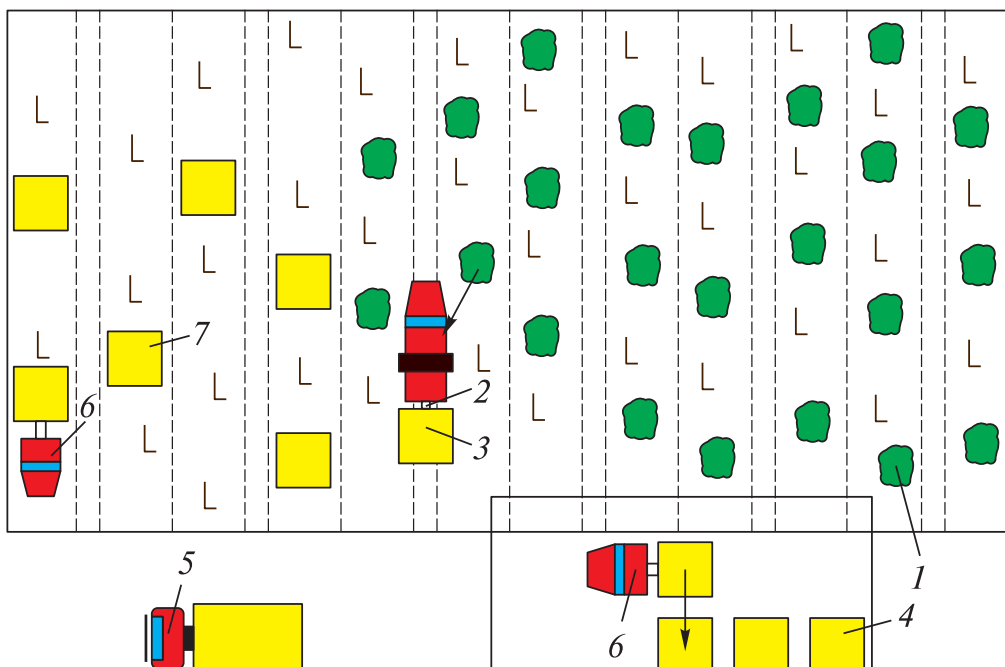


Рис. 6. Технологическая схема работы МРМ с ПБ и МК для щепы со сбрасыванием контейнеров на лесосеке: 1 — лесосечные отходы; 2 — МРМ; 3 — ПБ с МК для щепы; 4 — МК со щепой на погрузочной площадке; 5 — автощеповоз с МК со щепой; 6 — транспортная машина с МК со щепой; 7 — МК со щепой на лесосеке

Fig. 6. Technological workflow of MC with trailer hopper and SC for chips with dropping containers in the cutting area: 1 — harvesting residues; 2 — MC; 3 — trailer hopper with SC for chips; 4 — SC with chips at the loading area; 5 — chip hauler stet with SC chips; 6 — transport vehicle with SC with chips; 7 — SC with chips in the cutting area

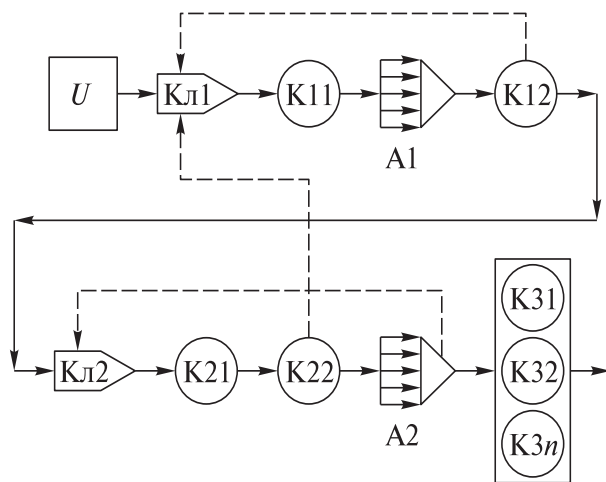


Рис. 7. Схема технологического процесса работы МРМ с ПБ на лесосеке

Fig. 7. Technological workflow scheme of MC with trailer hopper in the cutting area

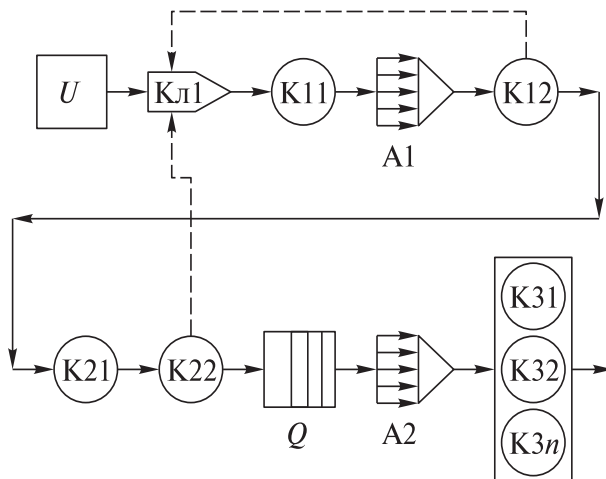


Рис. 8. Схема технологического процесса работы МРМ с ПБ и МК

Fig. 8. Technological workflow scheme of MC with trailer hopper and SC

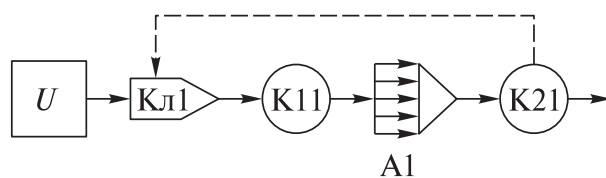


Рис. 9. Схема технологического процесса работы МРМ с ПБ и МК со сбрасыванием МК на лесосеке

Fig. 9. Technological workflow scheme of MC with trailer hopper and SC with dropping SC in the cutting area

Работа МРМ представлена двумя одноканальными приборами К11 и К12. Канал К11 имитирует время задержки на захват и переработку на щепу порции древесных отходов, захваченных манипулятором. Канал К12 имитирует задержку времени на транспортировку щепы в бункере до погрузочной площадки.

Разгрузку щепы из бункера в кузов имитирует одноканальный прибор К21. Канал К22 имитируем время задержки на обратных ход МРМ на лесосеку.

Работа автощеповозов представлена многоканальным прибором К3*n*. Число каналов равно числу автощеповозов.

Заявки представляют собой потоки древесного сырья. Все заявки можно разделить на несколько уровней. В систему из источника *U* поступают заявки первого уровня. Это порции древесных отходов, захваченных манипулятором. После прохождения канала К11 заявки первого уровня объединяются до ансамбля А1, размер которого равен объему ПБ МРМ. После прохождения каналов К21 и К22 заявки второго уровня объединяются до ансамбля А2, размер которого равен объему съемного кузова автощеповоза. После прохождения канала К3*n* заявка покидает систему.

Логика работы рубительной машины совместно с автощеповозами моделируется обратными связями и клапанами. Если заявка находится в канале К12, то клапан Кл1 перекрывает вход заявок в канал К11. После попадания заявки в канал К22 клапан Кл1 открывается.

Если заявки сформировали ансамбль А2, но все каналы К3*n* заняты, то клапан Кл2 перекрывает выход заявки из канала К22.

Технологический процесс работы МРМ с ПБ, внутри которого размещен МК, со сброской МК на погрузочной площадке (см. рис. 5) схематично представлен на рис. 8.

Отличие схемы на рис. 8 от схемы на рис. 7 заключается в логике функционирования систем. В схеме на рис. 8 отсутствует клапан Кл2. Заявки беспрепятственно покидают канал К22, после которого становятся в очередь *Q* к многоканальному прибору К3*n*, ожидая освобождения какого-нибудь канала. Если очередь *Q* пустая, то многоканальный прибор будет простаивать.

Технологический процесс работы МРМ с ПБ, внутри которого размещен МК, со сбрасыванием МК на лесосеке (см. рис. 6) схематично представлен на рис. 9.

В схеме на рис. 9, по сравнению со схемой на рис. 8, отсутствует многоканальный прибор К3*n*. Заявки беспрепятственно покидают канал К21, после которого покидают систему.

Моделирование проводилось для совместной работы одной МРМ, одного или двух автощеповозов. Расстояние транспортировки щепы автощеповозом было принято равным 100 км. Объем съемного кузова 30 м³, объем ПБ 15 м³.

Результаты моделирования в виде графиков представлены на рис. 10–13.

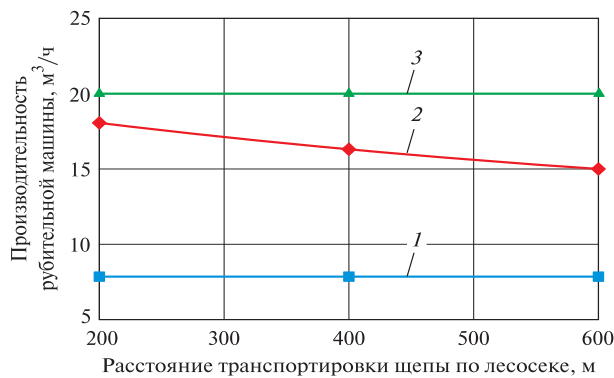


Рис. 10. Зависимость производительности МРМ от расстояния транспортировки щепы по лесосеке для технологий существующей (1), проектируемой 1 (2), проектируемой 2 (3)

Fig. 10. The dependence of the performance of MC on the distance of chips transportation in the cutting area for existing technologies (1), designed 1 (2), designed 2 (3)

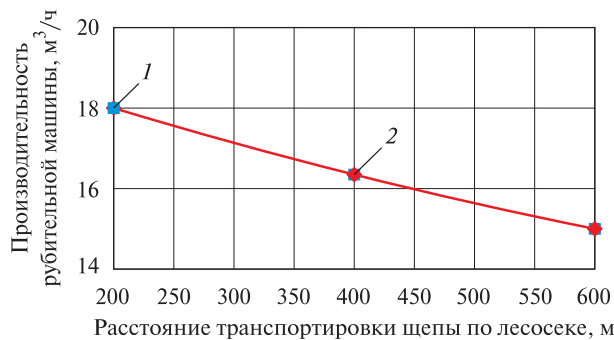


Рис. 12. Зависимость производительности системы машин от расстояния транспортировки щепы по лесосеке для одного автощеповоза (1) и двух автощеповозов (2) по проектируемой технологии 1

Fig. 12. The dependence of the system performance of machines on the distance of chips transportation in the cutting area for one chip hauler stet (1) and two chip hauler stets (2) according to the projected technology 1

Выводы

Как видно из графика на рис. 10, часовая производительность МРМ зависит от принятой технологии. Для технологии со сбрасыванием МК на погрузочной площадке производительность МРМ уменьшается с увеличением расстояния транспортировки щепы по лесосеке. Для технологии со сбрасыванием МК на лесосеке производительность МРМ не зависит от расстояния транспортировки щепы по лесосеке. Что касается существующей технологии, то производительность МРМ почти не зависит от расстояния транспортировки щепы по лесосеке. Это можно объяснить тем, что работа МРМ по существующей технологии в отличие от проектируемых технологий зависит от производительности автощеповозов. Это хорошо видно из графика

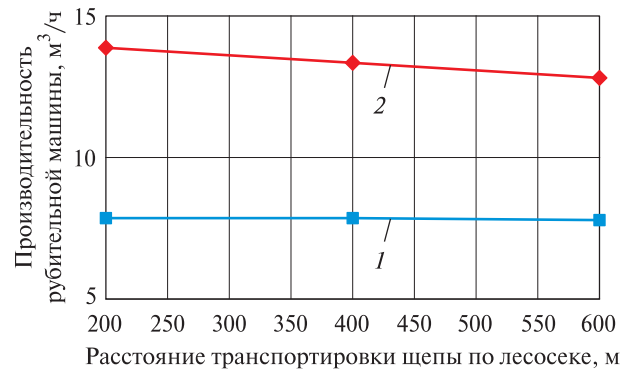


Рис. 11. Зависимость производительности МРМ от расстояния транспортировки щепы по лесосеке для одного автощеповоза (1) и двух автощеповозов (2) по традиционной технологии

Fig. 11. The dependence of the performance of the MC on the distance of chips transportation in the cutting area for one chip hauler stet (1) and two chip hauler stets (2) according to conventional technology

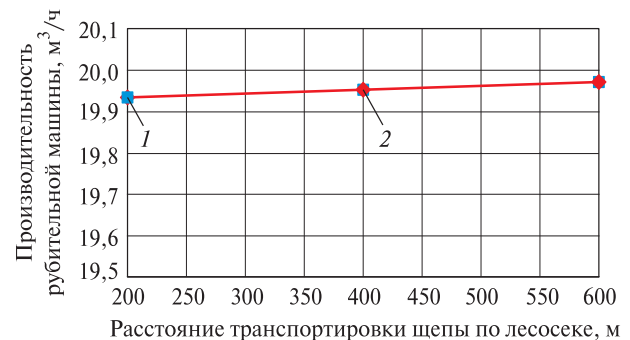


Рис. 13. Зависимость производительности системы машин от расстояния транспортировки щепы по лесосеке для одного автощеповоза (1) и двух автощеповозов (2) по проектируемой технологии 2

Fig. 13. The dependence of the system performance of machines on the distance of chips transportation in the cutting area for one chip hauler stet (1) and two chip hauler stets (2) according to the projected technology 2

на рис. 11. Зависимость производительности МРМ от расстояния транспортировки щепы по лесосеке становится очевидной.

Производительность МРМ по проектируемым технологиям выше, чем по существующей. Самая высокая производительность МРМ со сбрасыванием МК со щепой на лесосеке, что объясняется отсутствием простоев МРМ на площадке. Производительность МРМ по проектируемым технологиям не зависит от количества автощеповозов, что также является преимуществом предлагаемых технологий по сравнению с традиционной.

Список литературы

[1] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Scherbakov E.N. Quantitative Estimation of Logging Residues by Line-Intersect Method // Croatian J. of Forest Engineering, 2017, no. 38, iss. 1, pp. 33–45.

- [2] Карпачев С.П., Запруднов В.И. Моделирование технологических процессов освоения лесосечных отходов для биоэнергетики с использованием мягких контейнеров // Развитие идей Г.Ф. Морозова при переходе к устойчивому лесопромысловому управлению: материалы Международной научно-технической юбилейной конференции 20–21 апреля 2017 г. / отв. ред. С.М. Матвеев. Воронеж, ВГЛУ. Воронеж: ВГЛУ, 2017. С. 262–265.
- [3] Карпачев С.П., Щербаков Е.Н., Комяков А.Н. Некоторые вопросы освоения биоресурсов из леса для нужд биоэнергетики // Вестник МГУЛ–Лесной вестник, 2010, № 4 (73), С. 107–111.
- [4] Карпачев С.П., Щербаков Е.Н., Приоров Г.Е. Проблемы развития биоэнергетики на основе древесного сырья в России // Лесопромышленник, 2009. № 1 (49). С. 20–22.
- [5] Устройство для производства щепы на лесосеке. Патент на полезную модель № 140310 от 07.04.2014 г. / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, Д.В. Шмырев, И.П. Карпачева, К.А. Евстратова.
- [6] Карпачев С.П. Логистика. Моделирование технологических процессов береговых складов. М.: МГУЛ, 2005. 132 с.
- [7] Forest energy procurement — state of the art in Finland and Sweden / J. Routa, A. Asikainen, R. Bjorheden, J. Laitila, D. Roser // WIREs Energy and Environment, 2013, no. 2 (6), pp. 602–613.
- [8] Анисимов П.Н., Онучин Е.М. Оценка и способы повышения энергетической эффективности производства топливной щепы // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: материалы XXI всероссийской научно-технической конференции. Томск: Скан, 2015. Т. 1. С. 252–255.
- [9] Шелгунов Ю.В. Машины и оборудование лесозаготовок, лесосплава и лесного хозяйства. М.: Лесная промышленность, 1982. 520 с.
- [10] Кундас С.П., Позняк С.С., Родькин О.И., Санникович В.В., Ленгфельдер Э. Использование древесной биомассы в энергетических целях: научный обзор. Минск: МГЭУ им А. Д. Сахарова, 2008. 85 с.
- [11] Руководство по проведению санитарно-оздоровительных мероприятий. Приложение 2 к Приказу Рослесхоза от 29.12.2007 № 523. URL: <http://legalacts.ru/doc/prikaz-rosleskhoza-ot-29122007-n-523-ob/#102001> (дата обращения 01.09.2018).
- [12] Боровиков В.П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. СПб.: Питер, 2001. 656 с.
- [13] Spinelli R., Hartsough, B. A survey of Italian chipping operations // Biomass and Bioenergy, 2001, v. 21(6), pp. 433–444.
- [14] Magagnotti, N., Spinelli, R. Good practice guidelines for biomass production studies; WG2 Operations research and measurement methodologies. Sesto Fiorentino, Italy: COST Action FP-0902 and CNR Ivalsa, 2012, 52 p.
- [15] Eliasson L., von Hofsten H., Johannesson T., Spinelli R., Thierfelder T. Effects of sieve size on chipper productivity, fuel consumption and chip size distribution for open drum chippers // Croatian Journal of Forest Engineering, 2015, v. 36(1), pp. 11–17.
- [16] Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. Recovering logging residue: experiences from the Italian Eastern Alps // Croatian Journal of Forest Engineering, 2007, v. 28(1), pp. 1–9.
- [17] Mihelic M., Spinelli R., Poje A. Production of Wood Chips from Logging Residue under Space-Constrained Conditions // Croatian Journal of Forest Engineering, 2018, v. 39(2), pp. 223–232.
- [18] Россо Я. Что мешает развитию отечественной биоэнергетики? // ЛесПромИнформ, 2016. № 6 (120). С. 38–39.
- [19] Gerasimov Y., Karjalainen T. Energy wood resources in Northwest Russia // Biomass and Bioenergy, 2011, no. 35, pp. 1655–1662.
- [20] Esteban B., Baquero G., Puig R., Riba J.R., Rius A. Is it environmentally advantageous to use vegetable oil directly as biofuel instead of converting it to biodiesel? // Biomass Bioenergy, 2011, no. 35, pp. 1317–1328. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.12.025> (дата обращения 01.09.2018).

Сведения об авторах

Карпачев Сергей Петрович — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), karpachevs@mail.ru

Запруднов Вячеслав Ильич — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zaprudnov@mgul.ac.ru

Быковский Максим Анатольевич — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), bykovskiy@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 10.10.2018.

Принята к публикации 13.11.2018.

THE SIMULATION OF MOBILE CHIPPERS WITH SOFT CONTAINERS

S.P. Karpachev, V.I. Zaprudnov, M.A. Bykovskiy

BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

karpachevs@mail.ru

This article discusses the advanced technology of fuel chips production in the cutting area. To eliminate downtime on operations with the overload of chips from the trailer hopper to the detachable body, the chipper is equipped with a special soft container, which is placed in the trailer hopper. General view of the mobile chipper with trailer-hopper, which is placed inside a soft container insertion is shown in Fig. 2. We offer the container which should eliminate downtime chippers when filling out swap-bodies in the absence of vehicles. This goal is achieved due to the fact that the chips are not loaded in a trailer-hopper, and in a soft container, which is installed in the trailer hopper. The results of a study of the proposed technology on mathematical models showed that output per hour of a chipping machine depends on the adopted technology. For the new technology with soft containers on the loading platform performance chippers decreases with an increasing distance of transport of wood chips in the cutting area, which is understandable. For the technology with soft containers on the cutting area the performance of chippers does not depend on the distance transportation of chips in the cutting area. The productivity of the chippers on the proposed technology is higher than for a conventional technology. The productivity of the chippers on the proposed technology does not depend on the number chip hauler set that is also an advantage of the proposed technology compared to the conventional technology.

Keywords: bioenergy, mobile chipper, chips

Suggested citation: Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A. *Modelirovanie raboty mobil'noy rubitel'noy mashiny s myagkimi konteynerami* [The simulation of mobile chippers with soft containers]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 3, pp. 79–86. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-3-79-86

References

- [1] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Scherbakov E.N. Quantitative Estimation of Logging Residues by Line-Intersect Method // *Croatian J. of Forest Engineering*, 2017, no. 38, iss. 1, pp. 33–45.
- [2] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I. *Modelirovanie tekhnologicheskikh protsessov osvoeniya lesosechnykh otkhodov dlya bioenergetiki s ispol'zovaniem myagkikh konteynerov. Razvitiye idey G.F. Morozova pri perekhode k ustoychivomu lesoupravleniyu* [Modeling of technological processes of mastering of forest residues for bioenergy with the use of soft containers] Development of ideas of G.F. Morozov in transition to sustainable forest management: proceedings of the international scientific and technical anniversary conference 20–21 April 2017. Ed. S. M. Matveev. Voronezh: VGLTU, 2017, pp. 262–265.
- [3] Karpachev S.P., Shcherbakov E.N., Komyakov A.N. *Nekotorye voprosy osvoeniya bioresursov iz lesa dlya nuzhd bioenergetiki* [Some questions of development of forest bioresources for needs of bioenergetics]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2010, no. 4 (73), pp. 107–111.
- [4] S.P. Karpachev, E.N. Shcherbakov, Priorov G.E. *Problemy razvitiya bioenergetiki na osnove drevesnogo syr'ya v Rossii* [Problems of bioenergy development on the basis of raw wood in Russia]. *Lesopromyshlennik*, 2009, no. 1 (49), pp. 20–22.
- [5] *Patent na poleznuyu model' № 140310 ot 07.04.2014 g. Ustroystvo dlya proizvodstva shchepy na lesoseke* [The patent for useful model No. 140310 07.04.2014. Device for the production of chips on the cutting area] S.P. Karpachev, E.N. Shcherbakov, D.V. Shmyrev, I.P. Karpacheva, A.K. Evstratova.
- [6] Karpachev S.P. *Logistika. Modelirovanie tekhnologicheskikh processov beregovykh skladov* [Logistics. Modeling technological processes of onshore warehouses]. Moscow: MSFU, 2005, 132 p.
- [7] Forest energy procurement — state of the art in Finland and Sweden / J. Routa, A. Asikainen, R. Björheden, J. Laitila, D. Röser. *WIREs Energy and Environment*, 2013, no. 2 (6), pp. 602–613.
- [8] Anisimov P.N., Onuchin E.M. *Otsenka i sposoby povysheniya energeticheskoy effektivnosti proizvodstva toplivnoy shchepy* [Analysis and ways of increase of power production efficiency of chip fuel] *Energetika: effektivnost', nadezhnost', bezopasnost'*: materialy XXI vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Power engineering: efficiency, reliability, safety: Proceedings of the XXI-st All-Russian scientific and technical conference]. Tomsk: Skan, 2015, v. 1, pp. 252–255.
- [9] Shelgunov Yu.V. *Mashiny i oborudovanie lesozagotovok, lesosplava i lesnogo khozyaystva* [Machines and equipment of logging, timber rafting and forestry]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1982, 520 p.
- [10] Kundas S.P., Poznyak S.S., Rod'kin O.I., Sanikovich V.V., Lengfel'der E. *Ispol'zovanie drevesnoy biomassy v energeticheskikh tselyakh* [Wood-biomass utilization as an energy source]. Minsk: BSU, 2008, 85 p.
- [11] *Rukovodstvo po provedeniyu sanitarno-ozdorovitel'nykh meropriyatiy. Prilozhenie 2 k prikazu Rosleskhoza ot 29.12.2007* [Guide to sanitation. Appendix 2 to the Order of the Federal Forestry Agency of December 29, 2007], no. 523, 32 p. URL: <http://legalacts.ru/doc/prikaz-rosleskhoza-ot-29122007-n-523-ob/#102001> (accessed 01.09.2018).
- [12] Borovikov V.P. *Statistica: iskusstvo analiza dannykh na komp'yutere* [Statistica: the art of data analysis on the computer. For experts]. S. Petersburg: Piter, 2001, 656 p.
- [13] Spinelli R., Hartsough B. A survey of Italian chipping operations. *Biomass and Bioenergy*, 2001, v. 21(6), pp. 433–444.
- [14] Magagnotti, N., Spinelli, R. Good practice guidelines for biomass production studies; WG2 Operations research and measurement methodologies. Sesto Fiorentino, Italy: COST Action FP-0902 and CNR Ivalsa, 2012, 52 p.
- [15] Eliasson L., von Hofsten H., Johannesson T., Spinelli R., Thierfelder T. Effects of sieve size on chipper productivity, fuel consumption and chip size distribution for open drum chippers. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2015, v. 36(1), pp. 11–17.

- [16] Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. Recovering logging residue: experiences from the Italian Eastern Alps. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2007, v. 28(1), pp. 1–9.
- [17] Mihelič M., Spinelli R., Poje A. Production of Wood Chips from Logging Residue under Space-Constrained Conditions. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2018, v. 39(2), pp. 223–232.
- [18] Rosso Ya. *Что мешае развiтiу оteчeствeннoй bioeнepгeтiкi?* [What prevents the development of domestic bioenergy?]. Specialized information and analytical magazine. *LesPromInform*, 2016, no. 6 (120), pp. 38–39.
- [19] Gerasimov Y., Karjalainen T. Energy wood resources in Northwest Russia. *Biomass and Bioenergy*, 2011, no. 35, pp. 1655–1662.
- [20] Esteban B., Baquero G., Puig R., Riba J.R., Rius A. Is it environmentally advantageous to use vegetable oil directly as biofuel instead of converting it to biodiesel?. *Biomass Bioenergy*, 2011, no. 35, pp. 1317–1328. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.12.025> (accessed 01.09.2018).

Authors' information

Karpachev Sergey Petrovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), karpachevs@mail.ru

Zaprudnov Vyacheslav Il'ich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), zaprudnov@mgul.ac.ru

Bykovskiy Maksim Anatol'evich — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), bykovskiy@mgul.ac.ru

Received 10.10.2018.

Accepted for publication 13.11.2018.