

СИСТЕМА ПЛАВУЧИХ МАШИН ДЛЯ ПОДЪЕМА ЗАТОНУВШЕЙ ДРЕВЕСИНЫ И ПЕРЕРАБОТКИ ЕЕ НА БИОТОПЛИВО

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

Рассмотрена система плавучих машин для подъема и переработки на дрова затонувшей древесины. Проведено имитационное моделирование и представлена технология работы системы плавучих машин одной стоянке. Разработана математическая модель технологического процесса. Приведены некоторые результаты экспериментов, показавшие, что можно отказаться от промежуточной баржи для приема бревен, достаточно использовать только приемный стол на 20...40 бревен для сглаживания неравномерности их подачи. Получена зависимость часовой производительности топлякоподъемного агрегата и производительности процессора от числа барж, что согласуется с данными загрузки оборудования. Показано, что производительность системы по транспортировке дров с ростом числа барж возрастает и при наличии 8...10 барж приближается к производительности при остальных операциях.

Ключевые слова: плавучая система машин, затонувшая древесина, дрова, имитационное моделирование

Ссылка для цитирования: Карпачев С.П., Запруднов В.И., Быковский М.А. Система плавучих машин для подъема затонувшей древесины и переработки ее на биотопливо // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 5. С. 88–94. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-88-94

На лесосплавных реках очистка от топляков проводится специальным судном — плавучим краном ЛС-41 (рис. 1), которое может осуществлять только подъем древесины из воды, что и составляет его основной недостаток, поскольку переработка поднятой древесины в полезную продукцию не предусмотрена. Предлагаем перерабатывать поднятую древесину системой плавучих машин на дрова для нужд биоэнергетики [5, 7–20]. Для этого необходимо дополнить известное судно специальным плавучим устройством — древокольным процессором, который раскряжевывает бревна на коротыши и раскалывает их на поленья. Кроме этого, в состав системы плавучих машин можно включить специальные баржи для приема и транспортировки бревен и дров.

Цель работы

Работа посвящена рассмотрению системы плавучих машин для подъема затонувшей древесины и переработки ее на дрова, в состав которой входят четыре типа специальных судов (рис. 2).

Материалы и методы

Рассматриваемая в работе система плавучих машин отличается технологической гибкостью за счет возможности различных сочетаний и компоновки судов.

Возможные сочетания и размещения плавучих машин в акватории водоема можно свести к двум:

- 1) ТПА и ППД размещаются на общей стоянке;
- 2) ТПА и ППД размещаются на разных стоянках.

По первой технологической схеме (рис. 3) ТПА (1) работает совместно с ППД (3). Для сгла-

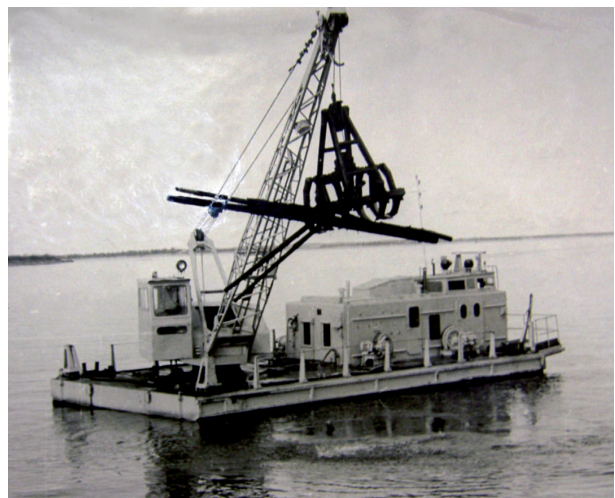


Рис. 1. Топлякоподъемное судно для сбора затонувшей древесины ЛС-41

Fig. 1. Log salvage vessel for collecting sunken wood LS-41

живания неравномерности подачи бревен между ТПА и ППД может размещаться баржа-площадка для приема бревен (2). Готовые дрова грузят на баржу-площадку (4) в сетчатые емкости (11) навалом для обеспечения их проветривания и воздушной сушки.

Известна и вторая технологическая схема: ТПА (1) работает отдельно от ППД (3), т. е. совместно с баржей-площадкой для приема и транспортировки поднятых из воды бревен (2), а ППД — с баржей-площадкой для приема и транспортировки дров.

Рассмотрим и исследуем первую технологическую схему (см. рис. 3). Поднятые манипулятором (5) ТПА из воды бревна грузят в накопитель (6), где их отмывают от ила и минеральных частиц.

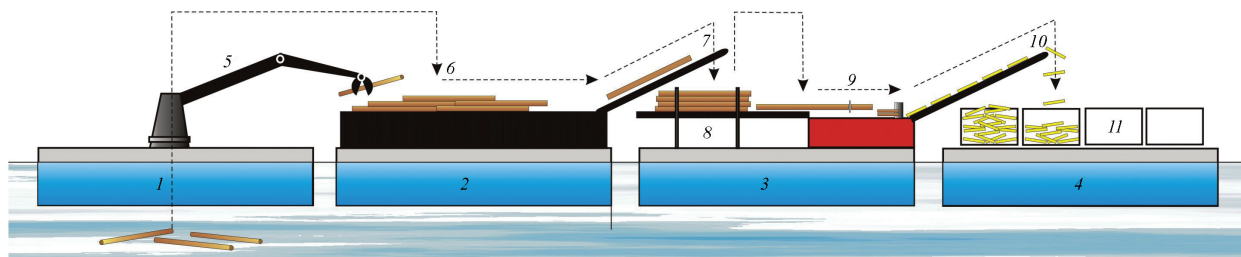


Рис. 2. Плавучая система машин для подъема и переработки на дрова затонувшей древесины: 1 — плавучий топлякоподъемный агрегат (ТПА) с манипулятором (5); 2 — баржа-площадка для приема и транспортировки поднятых из воды бревен с накопителем (6) и конвейером (7); 3 — плавучий процессор для переработки бревен на дрова (ППД) с приемным столом (8), процессором для раскряжевки и расколки бревен на дрова (9) и конвейером (10); 4 — баржа-площадка для переработки бревен на дрова с сетчатыми емкостями для дров (11)

Fig. 2. A floating system of machines for lifting and processing sunken wood for firewood: 1 — a floating log salvage unit (ТПА) with a manipulator (5); 2 — a barge-platform for receiving and transporting logs raised from the water with a stocker (6) and a conveyor (7); 3 — a floating processor for processing logs for firewood (ППД) with a receiving table (8), a processor for bucking and splitting logs for firewood (9) and a conveyor (10); 4 — barge-platform for processing logs for firewood with mesh containers for firewood (11)

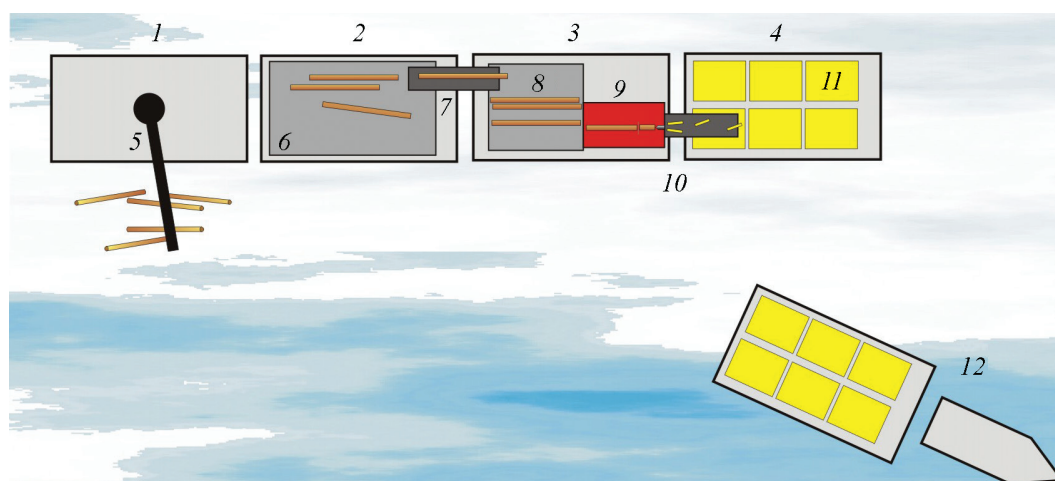


Рис. 3. Технологическая схема подъема и переработки на дрова затонувшей древесины, когда плавучий ТПА и ППД размещаются на общей стоянке: 1 — плавучий ТПА с манипулятором (5); 2 — баржа-площадка для приема и транспортировки поднятых из воды бревен с накопителем (6) и конвейером (7); 3 — плавучий ППД с приемным столом (8), процессором для раскряжевки и расколки бревен на дрова (9) и конвейером (10); 4 — баржа-площадка для переработки бревен на дрова (4) с сетчатыми емкостями для дров (11) и буксировка баржи-площадки с дровами (12) потребителю

Fig. 3. The technological scheme of lifting and processing sunken wood for firewood, when floating ТПА and ППД are placed in a common parking: 1 — floating ТПА with a manipulator (5); 2 — a barge-platform for receiving and transporting logs raised from the water with a drive (6) and a conveyor (7); 3 — floating РРМ with a receiving table (8), a processor for bucking and splitting logs into firewood (9) and a conveyor (10); 4 — a barge-platform for processing logs for firewood (4) with mesh containers for firewood (11) and towing a barge-platform with firewood (12) to a consumer

После этого конвейером (7) подают на приемный стол ППД (8), где поштучно выдают на раскряжевку и расколку на дрова. Дрова конвейером (10) загружают в сетчатые емкости (11).

После загрузки всех сетчатых емкостей дровами баржа-площадка (4) за тягой буксировщика направляется потребителю.

В представленной технологии (см. рис. 3) основным оборудованием являются ППД и ТПА. Баржа-площадка для приема и транспортировки

поднятых из воды бревен (2) выполняет функцию межоперационного накопителя для сглаживания неравномерной подачи бревен от ТПА к процессору (9). Приемный стол (8) перед процессором предназначен для поштучной подачи бревен к процессору и дополнительно выполняет работу как межоперационный накопитель.

Эффективность работы предложенной системы плавучих машин исследовалась на математических моделях [1–6].

Рассмотрим математическую модель работы системы плавучих машин по первой технологии (см. рис. 3) и результаты имитационных экспериментов.

В модели время циклов работы всех специальных судов будем считать случайными величинами, распределенными по экспоненциальному закону.

Работа ТПА

Часовую производительность ТПА на подъеме бревен из воды можно определить по формуле

$$П_{\text{час1}} = \frac{3600q_{\text{пач}}}{T_{\text{ц1}}}, \quad (1)$$

где $q_{\text{пач}}$ — объем пачки бревен, поднимаемых манипулятором ТПА, м³;

$T_{\text{ц1}}$ — время цикла подъема и погрузки бревен на баржу пачки бревен, с.

Время $T_{\text{ц1}}$ (с), затрачиваемое ТПА на выполнение операций по подъему и выгрузке бревен, определи по формуле

$$T_{\text{ц1}} = t_{\text{подъем}} + t_{\text{погр}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{подъем}}$ — время на подъем бревен из воды;

$t_{\text{погр}}$ — время на погрузку бревен на баржу-площадку.

Работа баржи-площадки для приема и транспортировки поднятых из воды бревен

Часовая производительность баржи будет равна производительности ТПА. Ограничителем работы баржи является ее грузоподъемность, выраженная в метрах кубических.

Работа ППД

Часовая производительность ППД по производству дров можно определить по формуле

$$П_{\text{час3}} = \frac{3600q_{\text{бр}}}{T_{\text{ц3}}}, \quad (3)$$

где $q_{\text{бр}}$ — объем бревна, м³;

$T_{\text{ц3}}$ — время на выполнение операций ППД по производству дров, с.

Время $T_{\text{ц3}}$ (с), затрачиваемое ППД на выполнение операций по подаче бревен к процессору, раскряжке, расколке бревен на дрова и подаче дров в емкости баржи-площадки, определяли по формуле

$$T_{\text{ц3}} = t_{\text{под.бр}} + t_{\text{раскр}} + t_{\text{раскол}} + t_{\text{под.дров}}, \quad (4)$$

где $t_{\text{под.бр}}$ — время подачи бревен к процессору;

$t_{\text{раскр}}$ — время раскряжки бревен;

$t_{\text{раскол}}$ — время расколки бревен на дрова;

$t_{\text{под.дров}}$ — время подачи дров в емкости баржи-площадки.

Некоторые операции в древокольном процессе совмещены, например раскряжка бревна и расколка.

Что касается времени подачи, то его следует определять по времени совмещенного цикла раскряжки и расколки.

Работа баржи-площадки для приема и транспортировки дров

Для транспортировки дров по первой технологической схеме используется специальное судно-баржа (см. рис. 2, 3). Судно оснащено сетчатыми емкостями для дров.

Расчетная сменная производительность специального судна определяли по формуле

$$П_{\text{час4}} = \frac{3600q_{\text{баржа}}}{T_{\text{ц4}}}, \quad (5)$$

где $q_{\text{бр}}$ — объем бревна, м³;

$T_{\text{ц4}}$ — время на выполнение транспортировки дров, с.

Время $T_{\text{ц4}}$ (с), затрачиваемое баржей на выполнение операций по транспортировке дров определяли по формуле

$$T_{\text{ц4}} = t_{\text{погр}} + t_{\text{трансп}} + t_{\text{разгр}}, \quad (6)$$

где $t_{\text{погр}}$ — время на погрузку дров;

$t_{\text{трансп}}$ — время на транспортировку дров;

$t_{\text{разгр}}$ — время на разгрузку дров.

Цикл погрузки дров в баржу определяется ее объемом и циклом раскряжки и расколки бревна — сопряженные циклы.

Время цикла транспортировки дров в грузовом и порожнем направлениях при движении судна по акватории будет равно:

$$t_{\text{трансп}} = t_r + t_x = \frac{l_y}{v_r} + \frac{l_y}{v_x}. \quad (7)$$

где v_r и v_x — скорости буксировки баржи при ее движении соответственно с грузом и порожним, м/с;

l_y — протяженность участка, м.

Плавучие машины работают с баржами-площадками для приема и транспортировки дров по системе «мультилифт». Заполненную дровами баржу принимает буксирное судно и затем отправляет потребителю, а под загрузку ставится пустая баржа.

Схема «мультилифт» работы системы плавучих машин по системе представлена на рис. 4.

Рассмотрим влияние объема баржи для приема затонувших бревен (топляков) и числа барж для буксировки дров на загрузку плавучих машин и их производительность (таблица).

Результаты и обсуждение

Зависимость производительности системы плавучих машин по операциям от грузоподъем-

ности баржи для поднятых бревен (топляков) при «бесконечном» объеме баржи для дров (расстояние буксировки 50 км) приведена на гистограмме (рис. 5). Следует отметить, что в этом случае моделировалась совместная работа ТПА и ППД с баржей для поднятых бревен без учета баржи для дров. Чтобы выявить влияние грузоподъемности баржи для поднятых бревен на производительность ТПА и ППД в модели была принята баржа для дров «бесконечного» объема. Как видно из гистограммы (см. рис. 5), объем баржи для приема поднятых из воды бревен не влияет на производительность плавучих машин по рассматриваемым операциям.

Таким образом, от промежуточной баржи для приема бревен можно отказаться. Достаточно оставить только приемный стол на 20...40 бревен для сглаживания неравномерности подачи бревен от ТПА к ППД.

Влияние на производительность числа барж для транспортировки дров исследовалось для барж грузоподъемностью 100 т.

Установлена зависимость коэффициентов использования оборудования и плавучих машин по операциям от числа барж для транспортировки дров (рис. 6). Из графика следует, что производительность ТПА и ППД зависит от числа барж для транспортировки дров. При этом коэффициент использования ТПА остается низким и не достигает 0,15. Это означает, что ТПА большую часть времени простаивает, поскольку его высокую производительность ограничивает ППД.

ППД при 1–2 баржи для дров загружен менее, чем на 50 %. Однако при увеличении числа барж до 7–8 коэффициент использования ППД превышает 0,95. За счет высокой производительности ТПА, ППД почти полностью загружен.

Увеличение числа барж на транспортировке дров заметно снижает их загрузку. Коэффициент использования барж снижается почти на 50 % при увеличении барж с 1 до 11 шт. (с 0,981 до 0,475).

Установлена зависимость производительности оборудования и плавучих машин по операциям от числа барж для транспортировки дров (рис. 7). Как следует из графика часовая производительность ТПА и производительность ППД зависят от числа барж. Это согласуется с данными загрузки оборудования, приведенными на рис. 6.

Отметим, что производительность системы на транспортировке дров с ростом числа барж увеличивается, и при 8–10 баржах приближается к максимально возможной для данной системы плавучих машин, в дальнейшем рост прекращается.

На рис. 8 показана производительность ТПА и ППД при «бесконечном» объеме баржи для дров, а также производительность всей системы плавучих машин, в зависимости от числа барж

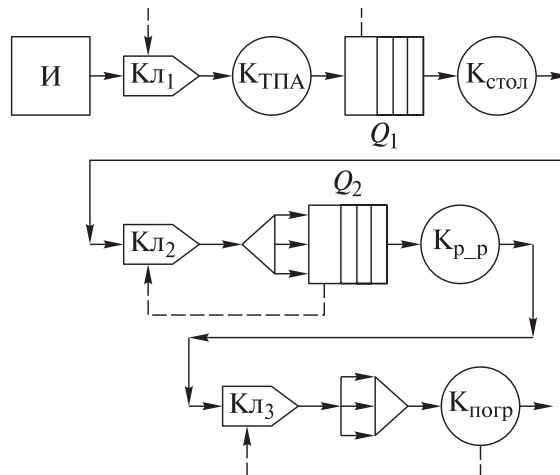


Рис. 4. Схема работы системы плавучих машин
Fig. 4. The scheme of floating machines system

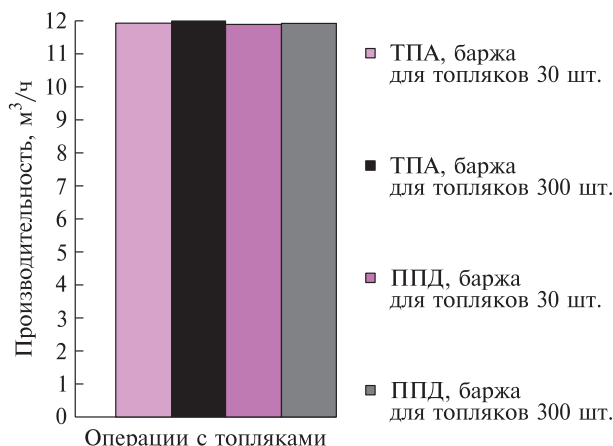


Рис. 5. Зависимость производительности системы плавучих машин по операциям от грузоподъемности баржи для поднятых бревен (топляков) при «бесконечном» объеме баржи для дров

Fig. 5. Dependence of the performance of a system of floating machines on operations on the carrying capacity of a barge for raised logs (firewood) with an “infinite” volume of a barge for firewood

Матрица планирования экспериментов
Experiment Planning Matrix

Объем баржи для топляков, шт.	Число барж для буксировки дров, шт.
300	1
100	1
30	1
30	3
30	5
30	7
30	9
30	11

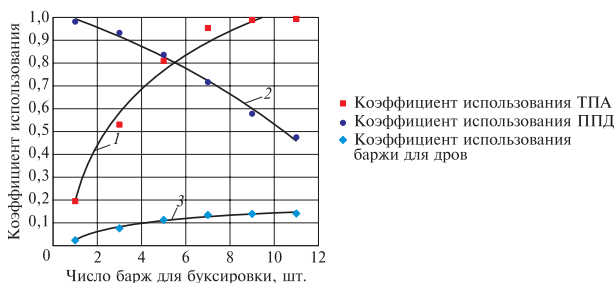


Рис. 6. Зависимость коэффициента использования оборудования и системы плавучих машин по операциям от числа барж для транспортировки дров:

$$1 - y = -0,002x^2 - 0,0293x + 1,0235; R^2 = 0,9946;$$

$$2 - y = 0,359\ln(x) + 0,1917; R^2 = 0,9767;$$

$$3 - y = 0,0515\ln(x) + 0,0274; R^2 = 0,975$$

Fig. 6. Dependence of the utilization rate of equipment and the system of floating machines for operations on the number of barges for transporting firewood:

$$1 - y = -0,002x^2 - 0,0293x + 1,0235; R^2 = 0,9946;$$

$$2 - y = 0,359\ln(x) + 0,1917; R^2 = 0,9767;$$

$$3 - y = 0,0515\ln(x) + 0,0274; R^2 = 0,975$$

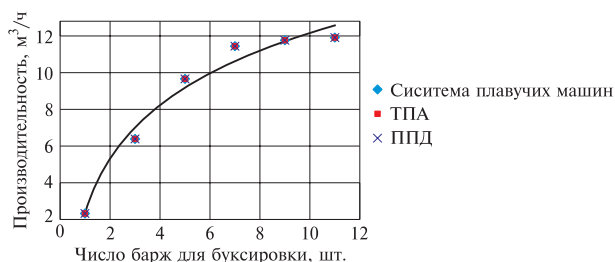


Рис. 7. Зависимость производительности оборудования и системы плавучих машин по операциям от числа барж для транспортировки дров:

$$y = 4,2848\ln(x) + 2,2805; R^2 = 0,9763$$

Fig. 7. Dependence of the utilization rate of equipment and the system of floating machines for operations on the number of barges for transporting firewood:

$$y = 4,2848\ln(x) + 2,2805; R^2 = 0,9763$$

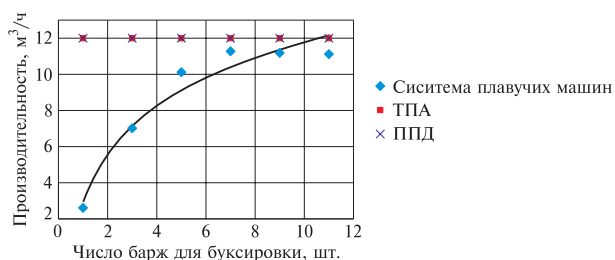


Рис. 8. Зависимость производительности оборудования и системы плавучих машин по операциям от числа барж для транспортировки дров:

$$y = 3,8199\ln(x) + 2,9866; R^2 = 0,9509$$

Fig. 8. Dependence of the productivity of equipment and the system of floating machines on operations on the number of barges for transporting firewood:

$$y = 3,8199\ln(x) + 2,9866; R^2 = 0,9509$$

для транспортировки дров. Из рис. 8 видно, что максимальная производительность системы плавучих машин определяется производительностью совместной работы ТПА и ППД и не может превышать 12 м³/ч при любом количестве барж.

Список литературы

- [1] Карпачев С.П., Шмырев В.И., Шмырев Д.В. Моделирование раскряжевки хлыстов сучкорезно-раскряжевой установкой и штабелевкой сортиментов погрузчиками разного типа // Транспорт: наука, техника, управление, 2016. № 3. С. 58–61.
- [2] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Scherbakov E.N. Quantitative Estimation of Logging Residues by Line-Intersect Method // Croatian journal of forest engineering, 2017, t. 38, no. 1, pp. 33–45.
- [3] Карпачев С.П., Шмырев В.И., Шмырев Д.В. Моделирование доставки круглых лесоматериалов потребителям автопоездами // Экологические системы и приборы, 2016. № 2. С. 18–22.
- [4] Карпачев С.П., Шмырев В.И., Шмырев Д.В. Моделирование разгрузки пачек хлыстов и укладки их в плот сплотно-транспортно-штабелевочными агрегатами // Транспорт: наука, техника, управление, 2016. № 1. С. 57–59.
- [5] Карпачев С.П. Логистика. Моделирование технологических процессов береговых складов. М.: МГУЛ, 2005. 132 с.
- [6] Карпачев С.П., Лозовецкий В.В., Щербаков Е.Н. Моделирование логистических систем лесных материаловопотоков // Транспорт: наука, техника, управление, 2010. № 8. С. 16–20.
- [7] Урьясьева И.Д. Опыт подъема топляка. Лесоэксплуатация и лесосплав. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1984. 28 с.
- [8] Расев А.И. Проблемы использования топляковой древесины в деревообрабатывающей промышленности // Сб. науч. тр. «Строение, свойства и качество древесины – 96». М.: МГУЛ, 1997. 378 с.
- [9] Анисимов П.Н., Онучин Е.М. Оценка и способы повышения энергетической эффективности производства топливной щепы // Материалы XXI Всерос. науч.-техн. конф. «Энергетика: эффективность, надежность, безопасность», Томск, ТПУ, 2–4 декабря 2015 г. Томск: Скан, 2015. Т. 1. С. 252–255.
- [10] Шелгунов Ю.В. Машины и оборудование лесозаготовок, лесосплава и лесного хозяйства. М.: Лесная промышленность, 1982. 520 с.
- [11] 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.
- [12] Головков С.И., Коперин И.Ф., Найденов В.И. Энергетическое использование древесных отходов. М.: Лесная промышленность, 1987. 224 с.
- [13] Spinelli, R., Hartsough, V. 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 01.02.2019).

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, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), bykovskiy@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 13.11.2018.

Принята к публикации 09.07.2019.

SYSTEM OF FLOATING MACHINE FOR LIFTING SUNKEN WOOD AND PROCESSING IT TO BIOFUELS

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

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

karpachevs@mail.ru

A system of floating machines for lifting and processing sunken wood for firewood is considered. A simulating test was carried out and the technology of floating machines in one parking lot was presented. A mathematical model of the technological process is developed. Some experimental results are shown, it is possible to refuse an intermediate barge for receiving logs, it is enough to use only a receiving table for 20...40 logs to smooth out the unevenness of their supply. The dependence of the hourly capacity of the log salvage unit and processor performance on the number of barges is obtained, which is consistent with the equipment loading data. It is shown that the performance of the firewood transportation system increases with the number of barges and, with 8...10 barges, approaches productivity in other operations.

Keywords: a floating machinery system, sunken timber, firewood, simulation

Suggested citation: Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A. *Sistema plavuchikh mashin dlya pod'ema zatonuvshyey drevesiny i pererabotki ee na biotoplivo* [System of floating machine for lifting sunken wood and processing it to biofuels]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 5, pp. 88–94.

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-88-94

References

- [1] Karpachev S.P., Shmyrev V.I., Shmyrev D.V. *Modelirovanie raskryazhevki khlystov suchkorezno-raskryazhevochnoy ustanovkoy i shtabelevkoy sortimentov pogruzchikami raznogo tipa* [Simulation of bucking Khlysty with a delimiting-bucking installation and piling assortments with loaders of different types] *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport: science, technology, management], 2016, no. 3, pp. 58–61.
- [2] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Scherbakov E.N. Quantitative Estimation of Logging Residues by Line-Intersect Method. *Croatian journal of forest engineering*, 2017, t. 38, no. 1, pp. 33–45.
- [3] Karpachev S.P., Shmyrev V.I., Shmyrev D.V. *Modelirovanie dostavki kruglykh lesomaterialov potrebitelyam avtopoezdami* [Modeling the delivery of round timber to consumers by road trains] *Ekologicheskie sistemy i pribory* [Ecological Systems and Devices], 2016, no. 2, pp. 18–22.
- [4] Karpachev S.P., Shmyrev V.I., Shmyrev D.V. *Modelirovanie razgruzki pachek khlystov i układki ikh v plot splotochno-transportno-shtabelevochnymi agregatami* [Simulation of unloading packs of whips and placing them in a raft of rattan-transport-piling units]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport: science, technology, management], 2016, no. 1, pp. 57–59.
- [5] Karpachev S.P. *Logistika. Modelirovanie tehnologicheskikh processov beregovykh skladov* [Modelling of processes of coastal warehouses]. Moscow: MSFU, 2005, 132 p.
- [6] Karpachev S.P., Lozovetskiy V.V., Shcherbakov E.N. *Modelirovanie logisticheskikh sistem lesnykh materialopotokov* [Modelling of logistic systems of forest material flows]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport: science, technology, management], 2011, no. 8, pp. 16–20.
- [7] Ur'yas'eva I.D. *Opyt pod'yema toplyaka. Lesoekspluatatsiya i lesosplav* [Sinkers salvage. Forest exploitation and timber rafting]. Moscow: VNIPIEIspprom, 1984. 28 p.

- [8] Rasev A.I. *Problemy ispolzovaniya toplyakovoy drevesiny v derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti* [Using submerged wood in the woodworking industry] Stroenie, svoystva i kachestvo drevesiny – 96 [Wood structure, properties, and quality – 96]. Moscow: MGUL, 1997, 378 p.
- [9] Anisimov P.N., Onuchin E.M. *Otsenka i sposoby povysheniya energeticheskoy effektivnosti proizvodstva toplivnoy shchepy* [Evaluation and ways to improve the energy efficiency of the production of fuel chips] Materialy XXI vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Energetika: effektivnost', nadezhnost', bezopasnost'», Tomsk, TPU, 2–4 dekabrya 2015 g. [Proceedings of the XXI All-Russian Scientific-Technical Conference «Energy: Efficiency, Reliability, Safety», Tomsk, TPU, December 2–4, 2015]. Tomsk: Scan, 2015, v. 1, pp. 252–255.
- [10] Shelgunov Yu.V. *Mashiny i oborudovanie lesozagotovok, lesosplava i lesnogo khozyaystva* [Machines and equipment for logging, timber floating and forestry]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forest industry], 1982, 520 p.
- [11] Kundas S.P., Poznyak S.S., Rod'kin O.I., Sanikov V.V., Lengfel'der E. *Ispol'zovanie drevesnoy biomassy v energeticheskikh tselyakh: nauchnyy obzor* [Use of woody biomass for energy purposes: a scientific review]. Minsk: MSEU named after A. Sakharov, 2008, 85 p.
- [12] Golovkov S.I., Koperin I.F., Naydenov V.I. *Energeticheskoe ispol'zovanie drevesnykh otkhodov* [Wood waste utilization as an energy source]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1987, 224 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. *Chto meshaet razvitiyu otechestvennoy bioenergetiki?* [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 01.02.2019).

Authors' information

Karpachyov 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 13.11.2018.

Accepted for publication 09.07.2019.