

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА УБОРКИ ЗАХЛАМЛЕННОСТИ ЛЕСА ПОРТАТИВНОЙ ЛЕБЕДКОЙ

С.П. Карпачев, Р.И. Диев

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

karpachevs@mail.ru

Рассматривается технология уборки захламленности леса от естественного отпада с использованием портативной лебедки. Приводится математическая модель технологического процесса. Результаты имитационных экспериментов с моделью позволяют сделать следующие выводы: 1) число стрелеванных пачек в смену с увеличением длины тягового каната лебедки уменьшается по степенному закону. Это объясняется тем, что объем пачки, а значит, и время ее набора увеличивается с увеличением длины каната лебедки; 2) при определенной длине тягового каната производительность лебедки достигает максимальных значений. Например, при объеме отпада 20 м<sup>3</sup>/га максимальная производительность системы будет достигаться при длине каната 30 м.

**Ключевые слова:** захламленность леса, естественный отпад, имитационное моделирование

**Ссылка для цитирования:** Карпачев С.П., Диев Р.И. Моделирование технологического процесса уборки захламленности леса портативной лебедкой // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 4. С. 10–14. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-10-14

Естественный отпад древесины приводит к захламленности леса (рис. 1). Если объем такой древесины превышает 20 м<sup>3</sup>/га, назначаются санитарные мероприятия по уборке захламленности леса [1]. Однако существующие технологии очистки леса от захламленности малоэффективные, затратные и основаны на использовании ручного труда.

В настоящей статье рассматривается технологическая схема уборки захламленности леса, основанная на применении бензомоторных пил и портативной лебедки со специальными трелювочными конусами. Эта технология позволяет минимизировать ручной труд и значительно уменьшить воздействие на окружающую среду.

В предлагаемой технологии древесина отпада трелюется лебедкой в пачки (рис. 2), которые затем могут быть переработаны в полезную про-

дукцию, например в топливную щепу или дрова [2–4]. Эффективность предлагаемой технологии решено было исследовать на математических моделях [5–12].



Рис. 1. Естественный отпад леса в виде валежа (Тверская область, фото автора)

Fig. 1. Natural decay of the forest in the form of valleys (Tver Region, photo of the author)

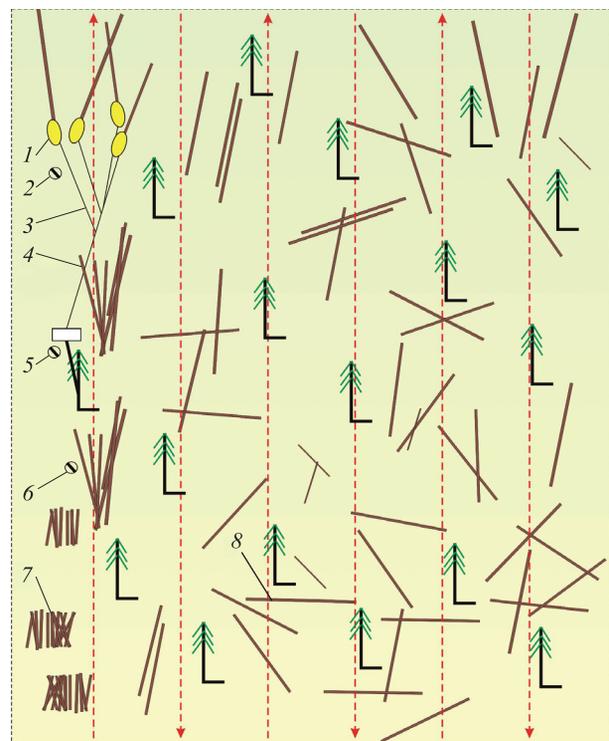


Рис. 2. Уборка захламленности леса: 1 — конусы; 2 — вальщик; 3 — тяговый канат; 4 — пачки стрелеванных деревьев отпада; 5 — лебедка; 6 — вальщик-раскряжевщик; 7 — поленицы из раскряжеванных деревьев отпада

Fig. 2. Cleaning of the litter of the forest: 1 — cones; 2 — the feller; 3 — traction rope; 4 — packs of skidded trees; 5 — a winch; 6 — loader—bucking; 7 — piles of broken bucked trees

Сменную производительность работы нескольких вальщиков можно представить как сумму объемов деревьев, подготовленных к трелевке за смену.

Продолжительность циклов и производительность вальщиков за смену в модели определим как сумму всех циклов и объем всех подготовленных деревьев:

$$\forall \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^N t_{ji} = T\eta; \tag{1}$$

$$П = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^N q_{ji},$$

где  $n$  — число вальщиков;  
 $N$  — число полных циклов работы одного вальщика за смену;  
 $t_{ji}$  — время  $i$ -го цикла работы  $j$ -го вальщика, с;  
 $T$  — продолжительность смены, с;  
 $\eta$  — коэффициент использования бензопилы  
 $q_{ji}$  — объем  $j$ -го дерева во время  $i$ -го цикла работы, м<sup>3</sup>.

Продолжительность цикла в расчете на одно дерево определяется по формуле

$$T_{ц} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4. \tag{2}$$

Здесь  $t_1$  — время на пиление сучьев и движение вальщика от комля к вершине, с;  
 $t_2$  — время на поворот ствола, с;  
 $t_3$  — время на обрезку опорных сучьев при движении в обратном направлении, с;  
 $t_4$  — время на переход вальщика между деревьями, с,

$$t_4 = \frac{l_{дер}}{v_{вал}} = 100 \sqrt{\frac{q_{хл}}{q}} v_{вал}^{-1}, \tag{3}$$

где  $l_{дер}$  — среднее расстояние между деревьями, м;  
 $v_{вал}$  — скорость вальщика при его движении с бензопилой по лесу, м/с;  
 $q_{хл}$  — средний объем дерева отпада, м<sup>3</sup>;  
 $q$  — объем отпада на 1 га, м<sup>3</sup>/га;  
 $v_{вал} = 0,5 \dots 0,8$  м/с.

Сменную производительность работы лебедки можно представить как сумму объемов стрелованных за смену групп деревьев. Объем группы деревьев определяется предельным одновременно трелюемым объемом. В предельном случае трелюемая группа может состоять из одного дерева. Объем пачки деревьев определяется как сумма групп деревьев, стрелованных с одной стоянки лебедки. Этот объем определяется охватываемой лебедкой площадью, которая зависит от длины тягового каната

$$Q_{пач} = q \frac{\pi l_{кан}^2}{20\,000}, \tag{4}$$

где  $q$  — объем отпада на 1 га, м<sup>3</sup>/га;  
 $l_{кан}$  — длина тягового каната лебедки, м.

Продолжительность циклов и производительность лебедки за смену в модели определим как сумму всех циклов и объем всех стрелованных пачек деревьев:

$$\forall \sum_{i=1}^N t_i = T\eta; \tag{5}$$

$$П = \sum_{i=1}^N Q_{пач.i}, \tag{6}$$

где  $N$  — число полных циклов работы лебедки за смену;  
 $t_i$  — время  $i$ -го цикла работы лебедки, с;  
 $T$  — продолжительность смены, с;  
 $\eta$  — коэффициент использования лебедки;  
 $Q_{пач.i}$  — объем пачки деревьев во время  $i$ -го цикла работы лебедки, м<sup>3</sup>;

Продолжительность  $i$ -го цикла трелевки одной группы деревьев

$$t_{ц.групп.i} = (t_1 + t_2 + t_3 + t_4)_i. \tag{7}$$

Здесь  $t_1, t_2$  — время движения троса соответственно в холостом и грузовом направлениях, мин.

$$t_1 + t_2 = \frac{l_{ср}}{V_x} + \frac{l_{ср}}{V_r}, \tag{8}$$

где  $l_{ср}$  — среднее расстояния трелевки, м;  
 $V_x, V_r$  — скорость движения грузового троса лебедки соответственно без груза и с грузом, 0,2 м/с;  
 $t_3$  — время набора и формирования группы деревьев для трелевки, с;  
 $t_4$  — время на разгрузку группы деревьев после трелевки, с.

С одной стоянки лебедка трелюет  $M_{групп}$  групп деревьев объемом  $Q_{групп}$  каждая. Эти группы формируют пачку объемом  $Q_{пач}$

$$M_{групп} = \frac{Q_{пач}}{Q_{групп}}, \tag{9}$$

Продолжительность цикла работы лебедки по формированию  $j$ -й пачки

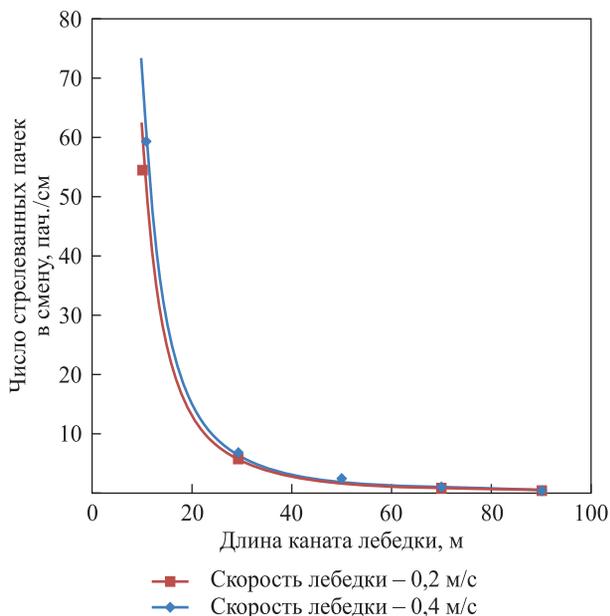
$$T_{ц.пач.j} = \left( \sum_{i=1}^{M_{групп}} T_{ц.групп.i} \right)_j + t_{п.б.j}, \tag{10}$$

где  $t_{п.б.j}$  — время на перебазировку лебедки после формирования  $j$ -й пачки, с.

На основе формул (1–10) были разработаны имитационная модель и компьютерная программа технологического процесса, составлен план экспериментов. Одной из задач имитационных экспериментов было установление влияния дли-

ны тягового каната лебедки (а значит, и охватываемой площади) на показатели эффективности технологии. Некоторые результаты экспериментов представлены в виде графиков на рис. 3 и 4.

Результаты экспериментов показали, что число стрелеванных пачек в смену резко уменьшается (по степенному закону) с увеличением длины тягового каната лебедки (см. рис. 3). Это объясняется тем, что объем пачки, а значит, и время ее набора увеличивается с увеличением длины каната лебедки.



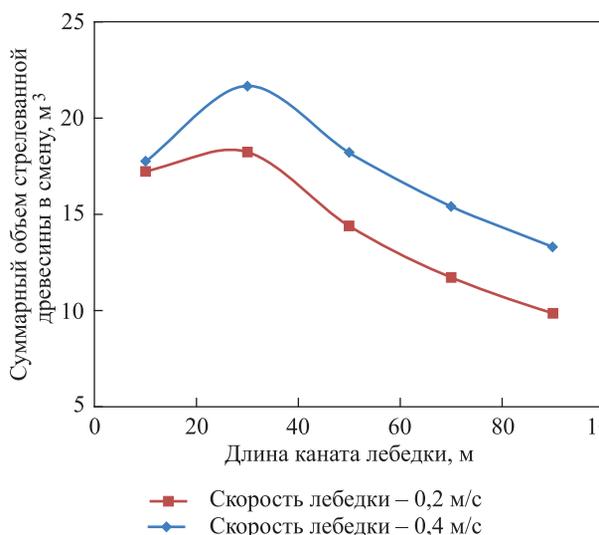
**Рис. 3.** Зависимость числа стрелеванных пачек в смену от длины тягового каната лебедки (1 вальщик, 1 лебедка, объем отпада = 20 м<sup>3</sup>/га)

**Fig. 3.** Dependence of the number of skidded packs per shift on the length of the winch rope (1 feller, 1 winch, decay volume = 20 м<sup>3</sup>/ha)

Зависимость объема стрелеванной древесины в смену от длины тягового каната лебедки (см. рис. 4) показывает, что при определенной длине тягового каната лебедки технологический процесс достигает максимальной производительности. Для случая пограничного объема отпада (20 м<sup>3</sup>/га) максимальная производительность системы будет достигаться при длине каната, равной 30 м.

Итоги имитационных экспериментов с моделями технологических уборки захламленности леса от естественного отпада с использованием портативной лебедки:

1. Предложена технологическая схема уборки захламленности леса, основанная на применении бензомоторных пил и портативной лебедки, которая позволяет минимизировать ручной труд и воздействие на окружающую среду.



**Рис. 4.** Зависимость объема стрелеванной древесины в смену от длины тягового каната лебедки (1 вальщик, 1 лебедка, объем отпада = 20 м<sup>3</sup>/га)

**Fig. 4.** Dependence of the volume of skidded wood per shift on the length of the pulling rope of the winch (1 feller, 1 winch, volume of fall = 20 м<sup>3</sup>/ha)

2. Разработана математическая модель технологии уборки захламленности леса с использованием портативной лебедки.

3. Выявлены следующие зависимости:

— число стрелеванных пачек в смену с увеличением длины тягового каната лебедки уменьшается по степенному закону;

— при определенной длине тягового каната производительность лебедки достигает максимальных значений (например, при объеме отпада 20 м<sup>3</sup>/га максимальная производительность системы будет достигаться при длине каната, равной 30 м.

### Список литературы

- [1] Руководство по проведению санитарно-оздоровительных мероприятий. Приложение 2 к Приказу Рослесхоза от 29.12.2007 № 523. 32 с.
- [2] 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.
- [3] Карпачев С.П., Щербаков Е.Н., Приоров Г.Е. Проблемы развития биоэнергетики на основе древесного сырья в России // Лесопромышленник, 2009. № 1 (49).
- [4] 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, v. 38, no. 1, pp. 33–45.
- [5] Шадрин А.А. Повышение гибкости технологий лесозаготовительных предприятий // Наука, образование, инновации в приграничном регионе: Матер. 2-й Респ. Науч.-практ. конф. Петрозаводский гос. ун-т, 2015. С. 31–32.

- [6] Карпачев С.П., Шмырев В.И., Шмырев Д.В. Моделирование доставки круглых лесоматериалов потребителям автопоездами // Экологические системы и приборы, 2016. № 2. С. 18–22.
- [7] Карпачев С.П. Логистика. Моделирование технологических процессов береговых складов. М.: МГУЛ, 2005. 132 с.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Карпачев С.П., Лозовецкий В.В., Щербаков Е.Н. Моделирование логистических систем лесных материалов // Транспорт: наука, техника, управление, 2011. № 8. С. 16–20.
- [11] Моделирование технологических процессов освоения биоресурсов леса с использованием мягких контейнеров на лесосеке / С.П. Карпачев, В.И. Шмырев, Д.В. Шмырев, А.А. Камусин, А.К. Редькин // Техника и оборудование для села, 2017. № 2 (236). С. 45–48.
- [12] Карпачев С.П., Диев Р.И. Разработка технологии уборки древесины естественного отпада для нужд биоэнергетики.

## Сведения об авторе

**Карпачев Сергей Петрович** — д-р техн. наук, профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [karpachev@mgul.ac.ru](mailto:karpachev@mgul.ac.ru)

**Диев Роман Иванович** — старший преподаватель, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [rdiev@yandex.ru](mailto:rdiev@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию 10.05.2017 г.

## MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF LITTER HARVESTING IN THE FOREST WITH A PORTABLE WINCH

S.P. Karpachev, R.I. Diev

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

karpachev@mgul.ac.ru

The article presents the way of litterharvesting from the loss of a growing forest with the help of a portable winch. The mathematical model of the process is presented. The results of simulation experiments with the model of technological process allow to make the following conclusions: 1) the number of wood packs per shift with increasing length of the traction rope of the winch decreases according to the power law. This is because the volume of the pack, and thus the time spent on its filling increases with the length of the hoist rope; 2) at a specific length of a traction rope the performance of winches reaches maximum values. For example, in the case of natural forest loss equalling 20 m<sup>3</sup>/ha, the maximum system capacity will be reached with a 30-meter length of rope.

**Keywords:** forest litter, natural forest loss, simulation modeling

**Suggested citation:** Karpachev S.P., Diev R.I. *Modelirovanie tekhnologicheskogo protsesssa uborki zakhlamlenosti lesa portativnoy lebedkoy* [Modeling of technological processes of cleaning litter the forest with portable winch]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 10–14. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-10-14

### References

- [1] *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.
- [2] 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.
- [3] Karpachev S.P., Shcherbakov E.N., Priorov G.E. *Problemy razvitiya bioenergetiki na osnove drevesnogo syr'ya v Rossii* [Problems of bioenergy based on wood raw materials in Russia] *Lesopromyshlennik*, 2009, no. 1 (49), pp. 31–32.
- [4] 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*, v. 38, 2017, no. 1, pp. 33–45.
- [5] Shadrin A.A. *Povyshenie gibkosti tekhnologiy lesozagotovitel'nykh predpriyatiy* [Improving the flexibility of the technology by logging companies] *Nauka, obrazovanie, innovatsii v prigranichnom regione. Materialy 2 respublikanskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii. Petrozavodskiy gosudarstvennyy universitet* [Science, education, innovation in the border region. Proceedings of the 2nd Republican scientific-practical conference. Petrozavodsk state University], 2015, pp. 31–32.
- [6] Karpachev S.P., Shmyrev V.I., Shmyrev D.V. *Modelirovanie dostavki kruglykh lesomaterialov potrebitelyam avtopoezdami* [Simulation of delivery roundwood customers autotrains]. *Environmental systems and devices*, 2016, no. 2, pp. 18–22.
- [7] Karpachev S.P. *Logistika. Modelirovanie tekhnologicheskikh processov beregovykh skladov* [Modelling of processes of coastal warehouses]. Moscow: MSFU, 2005, 132 p.
- [8] Karpachev S.P., Shmyrev V.I., Shmyrev D.V. *Modelirovanie raskryazhevki khlystov suchkorezno-raskryazhevochnoy ustanovki i shtabelevkoy sortimentov pogruzchikami raznogo tipa* [Simulation of bucking and piling of assortments of various types]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie*, 2016, no. 3, pp. 58–61.
- [9] Karpachev S.P., Shmyrev V.I., Shmyrev D.V. *Modelirovanie razgruzki pachek khlystov i ukladki ikh v plot splotochno-transportno-shtabelevochnymi agregatami* [Simulation of the unloading of bundles of whips and stacking them in the raft by units]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie*, 2016, no. 1, pp. 57–59.
- [10] Karpachev S.P., Lozovatsky V.V., Scherbakov E.N. *Modelirovanie logisticheskikh sistem lesnykh materialopotokov* [Modeling the log-socialist systems of forest material flow] *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie*, 2011, no. 8, pp. 16–20.
- [11] Karpachev S.P., Shmyrev V.I., Shmyrev D.V., Kamusin A.A., Red'kin A.K. *Modelirovanie tekhnologicheskikh protsessov osvoeniya bioresursov lesa s ispol'zovaniem myagkikh konteynerov na lesoseke* [Modeling of technological processes of development of forest bioresources for bioenergy with the use of soft containers] *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* [Machinery and equipment for rural area], 2017, no. 2 (236), pp. 45–48.
- [12] Karpachev S.P., R.I. Diev. *Razrabotka tekhnologii uborki drevesiny estestvennogo otpada dlya nuzhd bioenergetiki* [Development of technology of cleaning of the litter of the forest with wood, natural mortality for needs of bioenergetics] *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* [Machinery and equipment for rural area], 2017, no. 3 (237), pp. 41–43.

### Author's information

**Karpachev Sergey Petrovich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor, BMSTU (Mytishchi branch), karpachev@mgul.ac.ru

**Diev Roman Ivanovich** — Senior Lecturer, BMSTU (Mytishchi branch), rdiev@yandex.ru

Received 10.05.2017