DOI: 10.58168/CouForCom2026_151-157
УДК 674.059

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ НАСЫПИ ЩЕПЫ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ПОРУБОЧНЫХ ОСТАТКОВ

Прокопенко С.В.
Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

MODELING THE SURFACE OF A RUBBLE FILL IN THE PROCESS OF CRUSHING FELLING RESIDUES

Prokopenko S.V.
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Аннотация: Измельчение порубочных остатков является нередкой технологической операцией воздействия на удаляемую нежелательную растительность. В работе исследуются геометрические характеристики насыпи щепы, формирующейся при измельчении порубочных остатков.

Abstract: Chipping logging residues is a common technological operation for removing unwanted vegetation. This paper examines the geometric characteristics of the chip pile formed during chipping.

Ключевые слова: нежелательная растительность, удаление, измельчение, контейнер, кузов, щепа, насыпь, характеристики.

Keywords: unwanted vegetation, removal, crushing, container, body, chips, embankment, characteristics.

При удалении нежелательной растительности, произрастающей на территориях земель лесного фонда или линейной инфраструктуры [3], в состав применяемых технологических процессов [5] нередко входят технологические операции воздействия на формирующиеся порубочные остатки. В соответствии с исследованиями д.т.н. А.А. Платонова [2] указанные порубочные остатки могут быть сформированы посредством ручного (кусторезами, бензопилами, топорами) удаления растительности с последующим ручным сбором порубочных остатков, их погрузкой и вывозкой (рис. 1, а); ручным или механизированным срезанием (вырубанием) растительности с последующим ручным сбором порубочных остатков и их сжиганием (рис. 1, б). Указанные технологические схемы весьма распространены [7] в лесохозяйственном производстве [4], однако их недостатком является необходимость перемещения в пространстве больших объемов удаленной растительности (по рис. 1, а; что требует привлечения большого количества техники и, как следствие, больших затрат).

© Прокопенко С. В., 2026



Рисунок 1 – Элементы воздействия на нежелательную растительность и порубочные остатки

Утилизация порубочных остатков (веток, коры и сучьев) [9] путем сжигания (рис. 1, б) сопровождается выбросом целого комплекса вредных веществ. В процессе горения в воздух попадает углекислый газ, усиливающий парниковый эффект, и высокотоксичный угарный газ, возникающий из-за неполного сгорания древесины [1]. Кроме того, образуются метан и продукты пиролиза – например, сажа и мелкие твердые частицы, которые в сочетании с газами формируют плотную дымовую завесу. Всё вышеизложенное обуславливает целесообразность развития ручного или (желательно!) механизированного удаления нежелательно произрастающих деревьев и кустарников с их последующим измельчением (рис. 1, в) [6].

Измельчение порубочных остатков [8] сопровождается непременных их удалением из измельчающей машины или в кузов транспортного средства (рис. 2, а; как вариант – в приёмный контейнер для сухопутного или водного перемещения порубочных остатков в пространстве) или на поверхность очищаемого участка (рис. 2, б). Не рассматривая вариант рассыпания щепы относительно ровным слоем по поверхности участка, практически во всех остальных случаях формируется насыпь щепы, величина которой непосредственным образом отражается на общем объеме измельченных порубочных остатков, транспортируемом в кузове транспортного средства или приемном контейнере.

а)   б)

Рисунок 2 – Сформированная щепа из порубочных остатков

Выполним исследование геометрических характеристик насыпи щепы. Указанная насыпь, ограниченная с четырёх сторон стенками приёмного контейнера (кузовом транспортного средства), формируется потоком щепы, отдельные частицы которой в большей своей части падают по центру данного контейнера (соответствует принятому допущению при математическом моделировании).

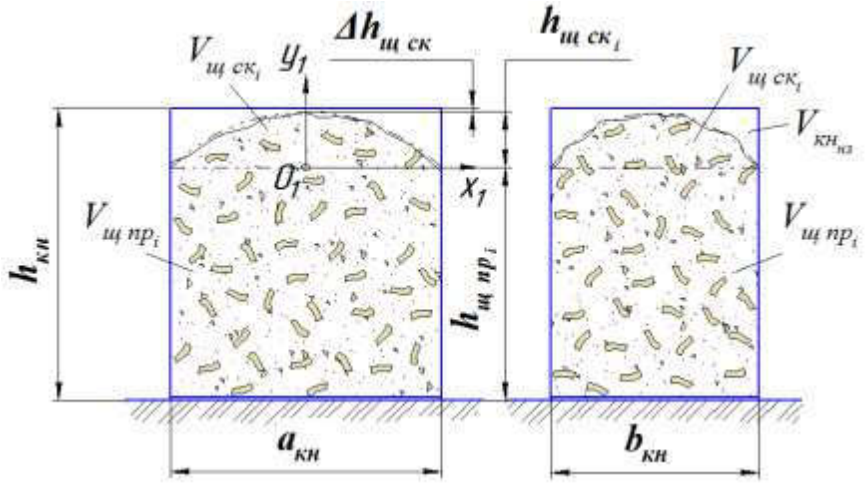


Рисунок 3 – Характеристики насыпи щепы и приемной тары

Объём щепы $V_{щ_i}$ (м^3) от измельчаемых порубочных остатков, наполняющий собой приемную тару (под которой подразумевается контейнер или кузов транспортного средства), в каждый i-й момент времени определится как:

$$V_{щ_i} = V_{щ\,пр_i} + V_{щ\,ск_i} \qquad (1)$$

где $V_{щ\,пр_i}$ – часть объема, относящаяся к призматической части насыпанной щепы; $V_{щ\,ск_i}$ – секторальная часть объема насыпанной щепы.

Принимая во внимание переменную высоту $h_{щ\,пр_i}$ призматической части объема щепы, получим $V_{щ\,пр_i} = a_{кн} \cdot b_{кн} \cdot h_{щ\,пр_i}$ при $a_{кн}$ и $b_{кн}$ – соответственно внутренних длине и ширине используемой приемной тары, мм.

Принимая во внимание переменную высоту $h_{щ\,ск_i}$ секторальной части объема щепы, отметим, что расстояние от верхней кромки приемной тары до верхней точки насыпи в ходе работ по измельчению щепы и ее погрузке в приемную тару стремится к минимуму ($\Delta h_{щ\,ск} \to 0$). Достижение верхним уровнем щепы верхней кромки приемной тары ($\Delta h_{щ\,ск} = 0$) является свидетельством об окончании набора щепы, хотя верхний уровень щепы может быть и выше уровня тары (указанный случай в данном исследовании не рассматрива-

ется). Окончательная высота сформировавшейся насыпи щепы определится как $h_{щск} = h_{кн} - h_{щпр}$.

В целях моделирования примем допущение о том, что поверхность насыпи щепы в приемной таре рассматривается в продольном и поперечном направлениях указанной тары и аппроксимируется полиномиальными уравнениями второго порядка.

В общем виде формирующаяся поверхность рассматриваемой насыпи может быть описана функциональными выражениями типа $y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$, где $y = N_щ$ – ордината крайней частицы щепы, принадлежащей насыпи, м; x – абсцисса частицы щепы, находящейся в приёмном контейнере, м. Коэффициенты a, b и c в указанных зависимостях определятся по следующим зависимостям:

$$a = \frac{\left(y_2 - \frac{(x_2 - x_0)\cdot(y_1 - y_0)}{x_1 - x_0} - y_0\right)}{x_2^2 - x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_0 - x_0 \cdot x_2}, \quad b = \frac{y_1 - a \cdot \left(x_1^2 - x_0^2\right) - y_0}{x_1 - x_0} \qquad (2)$$

$$c = y_0 - a \cdot x_0^2 - b \cdot x_0$$

Для моделирования поверхности насыпи щепы введём систему координат $x_1 O_1 y_1$, ось ординат которой совпадает с ось симметрии приёмного контейнера, а ось абсцисс находится в основании моделируемой насыпи.

На рис. 4 выполнено моделирование общего вида поверхности насыпи щепы для модели приёмной тары из рис. 3.

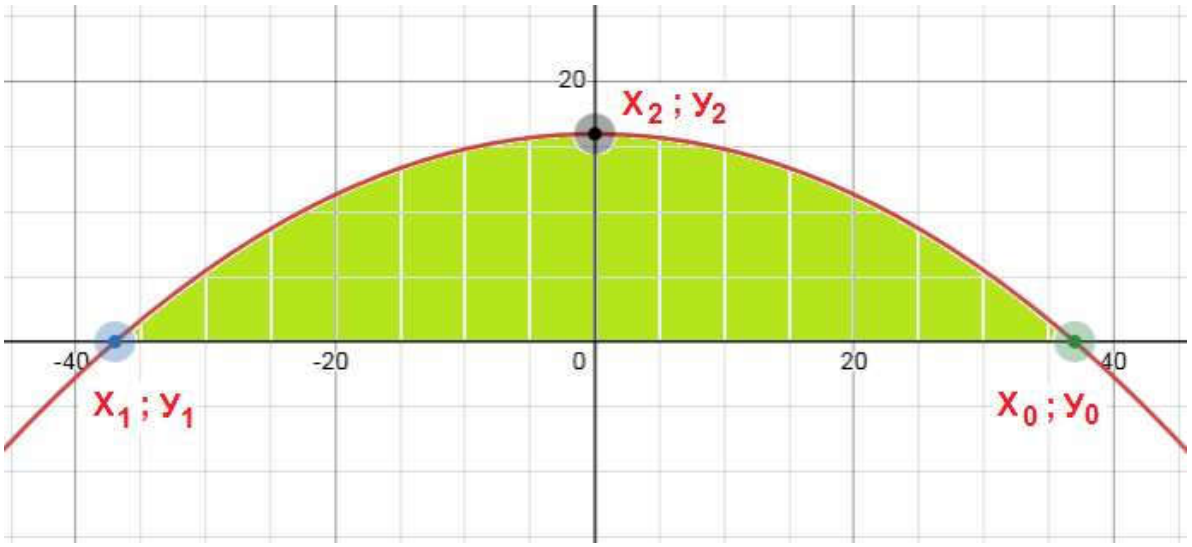


Рисунок 4 – Моделирование общего вида поверхности насыпи щепы в приемную тару

Применительно к принятым обозначениям размеров приемной тары, а также переменных высот $h_{щ\,пр_i}$ и $h_{щ\,ск_i}$ призматической и секторальной частей насыпающейся в тару щепы (рис. 4), зависимости для вышеуказанных коэффициентов a, b и c приводятся к следующему виду:

$$a = \frac{\left(h_{щ\,ск} - \frac{(0 - a_{кн}/2)\cdot(0-0)}{-a_{кн}/2 - a_{кн}/2} - 0\right)}{0 - (-a_{кн}/2)\cdot 0 + (-a_{кн}/2)\cdot a_{кн}/2 - a_{кн}/2\cdot 0} = -\frac{4\cdot h_{щ\,ск}}{a_{кн}^2},$$

$$b = \frac{0 - a\cdot\left((-a_{кн}/2)^2 - (a_{кн}/2)^2\right) - 0}{-a_{кн}/2 - a_{кн}/2} = 0 \qquad (3)$$

$$c = 0 - a\cdot(a_{кн}/2)^2 - 0\cdot(a_{кн}/2) = \frac{4\cdot h_{щ\,ск}}{a_{кн}^2}\cdot\frac{a_{кн}^2}{4} = h_{щ\,ск}$$

С учётом этого, формирующаяся поверхность насыпи щепы в приемную тару в направлениях длины и ширины указанной тары могут быть описаны следующими параболическими выражениями:

$$\begin{cases} N_{щ\,пр} = h_{щ\,ск} - \frac{4\cdot h_{щ\,ск}}{a_{кн}^2}\cdot x^2 \\ N_{щ\,пп} = h_{щ\,ск} - \frac{4\cdot h_{щ\,ск}}{b_{кн}^2}\cdot x^2 \end{cases} \qquad (4)$$

Полученные выражения будут необходимы при моделировании общего объема щепы, формирующейся при измельчении порубочных остатков и помещаемой в кузов транспортного средства или приемный контейнер.

Список литературы

1. Макаров В.Е. Совершенствование технологии разделения по степени смолистости технологической щепы, полученной из пневой и некондиционной древесины: монография / В.Е. Макаров. – Вологда, Москва: Инфра-Инженерия, 2026. – 96 с.

2. Платонов А.А. Исследование и систематизация существующих технологических процессов удаления нежелательной растительности / А.А. Платонов // Системы. Методы. Технологии. – 2020. – № 3(47). – С. 63-73. – DOI: 10.18324/2077-5415-2020-3-63-73.

3. Платонов А.А. Линейный инфраструктурный объект: определение, классификация / А.А. Платонов // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России (Транспромэк 2025): Труды научно-практической конференции, Воронеж, 19 ноября 2025 года. – Воронеж: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2025. – С. 208-212.

4. Платонов А.А. Особенности формирования капитальных вложений для создания систем машин удаления нежелательной растительности / А.А. Платонов, О. В. Терновская // Лесотехнический журнал. – 2020. – Т. 10, № 3(39). – С. 164-174. – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/16.

5. Платонов А.А. Современные технологии и технические средства сгребания и сбора порубочных остатков при восстановлении полезащитных лесополос / А.А. Платонов, М.А. Гнусов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2026. – Т. 19, № 1(88). – С. 124-133. – DOI: 10.53914/issn2071-2243_2026_1_124.

6. Платонов А.А. Структура формирования технологических процессов удаления нежелательной растительности с эксплуатационных объектов инфраструктуры / А.А. Платонов // Ползуновский альманах. – 2020. – № 1. – С. 65-68.

7. Платонов А.А. Теоретическое обоснование степени распространённости технологического процесса / А.А. Платонов // Актуальные проблемы современного транспорта. – 2020. – № 1. – С. 23-31.

8. Прокопенко С.В. Анализ способов повышения эффективности рабочих процессов рубительных машин / С.В. Прокопенко, А.А. Платонов // Современный лесной комплекс страны: инновационные разработки и прогрессивные технологии: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 25 сентября 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2025. – С. 201-205. – DOI 10.58168/MFCC2025_201-205.

9. Фомина О.А. Совершенствование конструкции технических средств для производства топливной щепы из отходов лесозаготовок / О.А. Фомина, С.В. Фокин. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2023. – 119 с.

References

1. Makarov V.E. Improving the technology for separating process chips obtained from stump and substandard wood by the degree of resin content: monograph / V.E. Makarov. - Vologda, Moscow: Infra-Engineering, 2026. - 96 p.

2. Platonov A.A. Research and systematization of existing technological processes for removing unwanted vegetation / A.A. Platonov // Systems. Methods. Technologies. - 2020. - No. 3 (47). - P. 63-73. - DOI: 10.18324/2077-5415-2020-3-63-73.

3. Platonov A.A. Linear infrastructure object: definition, classification / A.A. Platonov // Actual Problems and Prospects for the Development of Transport, Industry and Economy of Russia (Transpromek 2025): Proceedings of the Scientific and Practical Conference, Voronezh, November 19, 2025. – Voronezh: Rostov State University of Transport, 2025. – Pp. 208-212.

4. Platonov A.A. Features of the Formation of Capital Investments for the Creation of Systems of Machines for Removing Unwanted Vegetation / A.A. Platonov, O.V. Ternovskaya // Forest Engineering Journal. – 2020. – Vol. 10, No. 3(39). – Pp. 164-174. – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/16.

5. Platonov A.A. Modern Technologies and Technical Means of Raking and Collecting Logging Residues During the Restoration of Shelterbelts / A.A. Platonov, M.A. Gnusov // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. - 2026. - Vol. 19, No. 1 (88). - Pp. 124-133. - DOI: 10.53914/issn2071-2243_2026_1_124.

6. Platonov A.A. Structure of the formation of technological processes for removing unwanted vegetation from operational infrastructure facilities / A.A. Platonov // Polzunovsky Almanac. - 2020. - No. 1. - Pp. 65-68.

7. Platonov A.A. Theoretical justification for the degree of prevalence of the technological process / A.A. Platonov // Actual problems of modern transport. - 2020. - No. 1. - Pp. 23-31.

8. Prokopenko S.V. Analysis of methods for increasing the efficiency of work processes of chipping machines / S.V. Prokopenko, A.A. Platonov // The modern forest complex of the country: innovative developments and progressive technologies: materials of the All-Russian scientific and practical conference, Voronezh, September 25, 2025. - Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, 2025. - Pp. 201-205. - DOI 10.58168/MFCC2025_201-205.

9. Fomina O.A. Improving the design of technical means for the production of fuel chips from logging waste / O.A. Fomina, S.V. Fokin. - Tyumen: State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, 2023. - 119 p.