

Особенности моделирования изменения плотности в продольном направлении древесного ствола при расчете массы груза, транспортируемого лесной машиной

П. В. Будник, И. Р. Шегельман

Петрозаводский государственный университет

Аннотация: Обоснование параметров и компоновки самоходного шасси не может быть выполнено без определения массы груза лесной машины. Расчеты без учета этого показателя не позволяют реализовать системный подход, в основе которого лежит рассмотрение системы «человек – машина – среда» как целостного комплекса взаимосвязанных элементов. Масса груза зависит от плотности древесины. Плотности древесины в пределах растущего дерева неоднородна. Целью данного исследования является разработка математических моделей, позволяющих рассчитать среднюю плотность участка ствола дерева в зависимости от его местоположения в стволе. Исследования основываются на построении аппроксимирующих зависимостей изменения средней плотности древесины в продольном направлении ствола методом наименьших квадратов. Полученные математические модели устанавливают взаимосвязь изменения плотности в продольном направлении ствола для четырех лесообразующих пород Республики Карелия: сосны, ели, березы и осины.

Ключевые слова: моделирование, плотность древесины, лесозаготовки, трелевка, форвардер, скиддер.

Введение

Одним из важных критериев эффективного лесопользования является наличие высокопроизводительных и экологически безопасных лесных машин. Несмотря на предпринимаемые правительством инициативы отечественное лесное машиностроение находится в кризисе [1]. Это выражается в практически полном отсутствии отечественных машин на лесосечных работах [2]. Одним из путей выхода из сложившегося кризиса является разработка новых конструкций машин, способных конкурировать с зарубежными аналогами и прежде всего базовых машин, оптимизированных под природно-производственные условия страны.

Наиболее трудоемкими и дорогостоящими операциями являются операции, связанные с первичным транспортом леса [3]. Разработка базовых машин для первичного транспорта леса в первую очередь требует обоснования параметров и выбора компоновки самоходного шасси машины.

Известно, что между проектными параметрами лесной машины, характеристиками объекта труда и ее технологическими свойствами существует прямая взаимосвязь [4]. Обоснование параметров и компоновки самоходного шасси не может быть выполнено без определения параметров перемещаемого груза, в частности массы, его центра тяжести [4, 5], так как не позволяет реализовать системный подход, в основе которого лежит рассмотрение системы «человек – машина – среда» как целостного комплекса взаимосвязанных элементов.

В лесах Европы и России преимущественно получили две принципиальные схемы первичного транспорта леса: в полупогруженном или в полуподвешенном состоянии и в полностью погруженном. Первая схема представлена тракторами с арочными захватами (скиддеры) и машинами, снабженными зажимным коником и манипулятором с клещевым захватом. Вторая схема представлена машинами, снабженными грузовым отсеком и манипулятором с захватом (форвардеры). Масса перемещаемого такими машинами груза варьируется в значительных пределах [6, 7]. Поэтому требуется набор статистики для получения значений, которые могут быть использованы при проектировании параметров шасси лесной машины под конкретные природно-производственные условия. На практике получение необходимого объема значений является трудоемким и затратным по времени. Одним из подходов при решении данной проблемы может являться машинный эксперимент, в процессе которого на основе сведений о распределении размерных параметров деревьев в древостое вычисляются параметры транспортируемого груза [8].

Известно, что распределение плотности древесины любой породы в пределах растущего дерева неоднородна [9]. Особенно значительно изменение в продольном направлении ствола. Кроме того, плотность значительно зависит от влажности древесины [10]. Это создает серьезные

трудности при проведении адекватного машинного эксперимента, так как сложно перейти от размерных характеристик стволов к их массе. Например, сортимент из комлевой части ствола и срединной будут иметь различную массу, что на практике существенно может сказаться на массе транспортируемого груза. Это обусловлено не только отличием в геометрических размерах, но и изменением плотности. Кроме того, изменение плотности в продольном направлении ствола приводит к смещению центра тяжести лесоматериалов. Учет такого смещения важен при расчетах на опрокидывание.

Целью данного исследования является разработка математических моделей, позволяющих рассчитать среднюю плотность участка ствола дерева в зависимости от его местоположения в стволе. Исследование проведено на примере основных лесообразующих пород Республики Карелия.

Материалы и методы

Исследование заключалось в построении аппроксимирующих зависимостей изменения средней плотности древесины в продольном направлении ствола методом наименьших квадратов. Рассматривались следующие породы: ель, береза, сосна, осина. Исследование включало следующие этапы:

1. построение аппроксимирующей зависимости изменения средней условной плотности древесины от относительной высоты ствола;
2. получение выражений для расчета плотности древесины при заданной влажности в зависимости от средней условной плотности на заданной относительной высоте ствола;
3. получение выражений для расчета средней плотности участка ствола в зависимости от его положения в стволе.

Построение аппроксимирующей зависимости изменения средней условной плотности древесины от относительной высоты ствола

осуществлено на основе результатов исследований О. И. Полубояринова [9] и построения полиномов вида:

$$P_y(h) = Ah^3 + Bh^2 + Ch + D, \quad (1)$$

где $P_y(h)$ – средняя условная плотность древесины на относительной высоте ствола (кг/м^3); h – относительная высота ствола ($0 \dots 100$); A, B, C, D – коэффициенты полинома.

Определено, что условная плотность древесины имеет взаимосвязь с плотностью древесины при 12 % (P_{12}) [9]:

для ели, сосны, осины –

$$P_y(h) = 0.802P_{12}, \quad (2)$$

для березы –

$$P_y(h) = 0.780P_{12}. \quad (3)$$

В свою очередь плотность древесины при определенной влажности может быть рассчитана в зависимости от величины P_{12} [11]:

для ели, сосны, осины –

$$P_w = 0.823P_{12}(1 + 0.01W), \quad (4)$$

для березы –

$$P_w = 0.811P_{12}(1 + 0.01W), \quad (5)$$

где W – влажность древесины, %.

На основании выражений (2) – (5) получены выражения для перехода от величины $P_y(h)$ к плотности древесины на заданной относительной высоте ствола и определенной влажности ($P_w(h)$):

для ели, сосны, осины –

$$P_w(h) = 1.026P_y(h)(1 + 0.01W), \quad (6)$$

для березы –

$$P_w(h) = 1.0397P_y(h)(1 + 0.01W). \quad (7)$$

Выражения для расчета средней плотности участка ствола в зависимости от его положения в стволе и влажности может быть получено на основе интегрирования выражений (6) и (7):

$$\rho = \int_{h_1}^{h_2} P_w(h) dh, \text{ кг/м}^3 \quad (8)$$

где h_1 и h_2 – отметки относительных высот начало и конца участка ствола.

Результаты и их обсуждения

На основании аппроксимации результатов исследований О. И. Полубояринова [9] для выражения (1) получены коэффициенты полинома для расчета величины $P_y(h)$ (таблица 1).

Таблица № 1

Значения коэффициентов полинома для расчета средней условной плотности древесины на относительной высоте ствола согласно выражению (1)

Порода	A	B	C	D
Сосна	-0.000164	0.0038	-3.22	487
Ель	0.000105	-0.005	-0.35	380
Береза	0	0.0078	-1.387	510
Осина	-0.00005	0.0237	-1.83	424

Выражение для расчета средней плотности участка ствола в зависимости от его положения в стволе и влажности с учетом выражений (1) – (8) имеет вид:

для ели, сосны, осины –

$$\rho = \frac{1.026(1 + 0.01W)}{h_2 - h_1} \cdot \left(\frac{A}{4}(h_2^4 - h_1^4) + \frac{B}{3}(h_2^3 - h_1^3) + \frac{C}{2}(h_2^2 - h_1^2) + D(h_2 - h_1) \right), \quad (9)$$

для березы –

$$\rho = \frac{1.0397(1 + 0.01W)}{h_2 - h_1} \cdot \left(\frac{B}{3}(h_2^3 - h_1^3) + \frac{C}{2}(h_2^2 - h_1^2) + D(h_2 - h_1) \right), \quad (10)$$

где A, B, C, D – коэффициенты полинома, принимаемые согласно таблице 1.

Математические модели (9) и (10) позволяют учесть изменение средней плотности древесины в продольном направлении ствола в зависимости от влажности древесины. Отметим, приведенные выражения не учитывают изменение плотности в поперечном направлении, а также изменение плотности древесины от наличия гнили. Кроме того, выражения могут быть использованы при влажности древесины выше предела насыщения клеточных стенок. Прямое экспериментальное определение такого предела затруднительно поэтому в общем случае выражения (9) и (10) могут быть использованы при влажности древесины $W \geq 30\%$.

При обосновании параметров самоходного шасси целесообразно использовать плотность свежесрубленной древесины. В этом случае в моделях (9) и (10) применяются средние значения величины W характерные свежесрубленной древесины. Средняя влажность свежесрубленной древесины лесообразующих пород Республики Карелия составляют [11]: для сосны – 88 %; для ели – 91 %; для березы – 78 %; для осины – 82 %.

Плотность древесины в зависимости от времени года и места произрастания может значительно меняться. При увеличении влажности геометрические размеры ствола увеличиваются незначительно. Ввиду этого груз, который может быть размещен в грузовом отсеке или зажимном конике даже при одинаковых размерах деревьев может существенно отличаться. Поэтому необходимо располагать информацией о пределе массы груза. Для этого в выражениях (9) и (10) могут быть использованы значения максимальной влажности при водопоглощении. Следует отметить, что влажность древесины не одинакова как в поперечном, так и в продольном направлениях [9]. Данное изменение не учитывается в предложенных моделях, что, по всей видимости, приводит к некоторым неточностям в расчетах.

Заключение

Полученные математические модели устанавливают взаимосвязь изменения плотности в продольном направлении ствола для четырех лесообразующих пород Республики Карелия, позволяют гибко учитывать изменение плотности древесины в зависимости от времени года. Результаты исследований могут быть использованы в машиностроении в задачах обоснования параметров самоходных шасси лесных машин и технологического оборудования при проведении машинных имитационных экспериментов при расчете массы транспортируемого груза, его центр тяжести, а также при разработке рекомендации по эксплуатации машин первичного транспорта леса. Методика, лежащая в основе математических моделей, может быть распространена на породы других регионов страны.

Исследования проведены в рамках реализации гранта Президента Российской Федерации № МК-5321.2018.8.

Литература

1. Шегельман И. Р., Васильев А. С. Системный анализ объектов технологий и техники для лесосечных работ с целью синтеза новых патентоспособных решений // Инженерный вестник Дона. 2019. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5680
 2. Шегельман И. Р., Скрыпник В. И., Кузнецов А. В., Васильев А. С. Тенденции развития современного российского лесного машиностроения // Инженерный вестник Дона. 2016. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3561
 3. Mousavi S. R. Comparison of productivity, cost and environmental impacts of two harvesting methods in Northern Iran: short-log versus long-log. Ph.D. Thesis. University of Joensuu, Finland. 2009.
 4. Мясищев Д. Г., Прокопьев А. Ф. Обоснование параметров и выбор компонентов шасси мини-форвардера для рубок ухода в молодняках // ИВУЗ. «Лесной журнал». 2009. № 3. С. 53 – 60.
 5. Войнаш А. С., Войнаш С. А. Исследование влияния рейсовой нагрузки на проходимость гусеничного сортиментовоза // ИВУЗ. «Лесной журнал». 2011. № 5. С. 47 – 53.
 6. Proto A. R., Macri G., Visser R., Visser R., Harrill H., Russo D., Zimbalatti G. Factors affecting forwarder productivity // Eur J Forest Res. 2018. № 137 (2). pp. 143-151.
 7. Kulak D., Stańczykiewicz A., Szewczyk S. Productivity and Time Consumption of Timber Extraction with a Grapple Skidder in Selected Pine Stands // Croatian Journal of Forest Engineering. 2017. 38(1). pp. 55-63.
 8. Шегельман И. Р., Будник П. В., Баклагин В. Н. Оценка рейсовой нагрузки лесного трактора как важнейшего фактора проектирования и создания прогрессивных лесных машин // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 11. С. 78-83.
-

9. Полубояринов О. Н. Плотность древесины. М: Лесн. пром-сть, 1976. 106 с.
10. Мелехов В.И., Корчагов С.А., Бабич Н.А. Комплексная оценка качества древесины хвойных пород в культурах: монография / Сев. (Арктич.) федер. ун-т. –Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013. – 130 с.
11. Боровиков А. М., Уголев Б. Н. Справочник по древесине. М: Лесн. пром-сть, 1989. 296 с.

References

1. Shegelman I. R., Vasilev A. S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2019, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5680.
2. Shegelman I. R., Skrypnik V. I., Kuznetsov A. V., Vasilev A. S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3561.
3. Mousavi S. R. Comparison of productivity, cost and environmental impacts of two harvesting methods in Northern Iran: short-log versus long-log. Ph.D. Thesis. University of Joensuu, Finland. 2009.
4. Myasishchev D. G., Prokopjev A. F. Lesnoy Zhurnal, 2009, № 3, pp. 53-60.
5. Voinash A. S., Voinash S. A. Lesnoy Zhurnal, 2011, № 5, pp. 47-53.
6. Proto A. R., Macrì G., Visser R., Visser R., Harrill H, Russo D., Zimbalatti G. Eur J Forest Res. 2018. № 137 (2). pp. 143-151.
7. Kulak D., Stańczykiewicz A., Szewczyk S. Croatian Journal of Forest Engineering. 2017. 38(1). pp. 55-63.
8. Shegelman I. R., Budnik P. V., Baklagin V. N. Sovremennye naukoemkie tekhnologii, 2018. № 11. pp. 78-83.
9. Poluboyarinov O. N. Plotnost' drevesiny [Wood density]. M: Lesn. prom-st', 1976. 106 p.



10. Melekhov V. I., Korchagov S. A., Babich N. A. Kompleksnaya otsenka kachestva drevesiny khvoynykh porod v kul'turakh [Comprehensive assessment of the quality of softwood in crops]. Sev. (Arktich.) feder. un-t. Arkhangel'sk: IPTs SAFU, 2013. 130 p.
11. Borovikov A. M., Ugolev B. N. Spravochnik po drevesine [Handbook on wood]. M: Lesn. prom-st', 1989. 296 p.