

ОСОБЕННОСТИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕЗИСТОГРАММ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ

О.Н. Тюкавина¹✉, Н.А. Неверов², В.И. Мелехов¹,
С.А. Корчагов³, С.С. Макаров⁴, Д.Ю. Корепин⁵

¹ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), Россия, 163002, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 17

²ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова УрО РАН», Институт геодинамики и геологии, Россия, 163000, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 23

³ООО «Вологодский лесной научно-инновационный консалтинговый центр», Россия, 160032, Вологодская обл., г. Вологда, пер. Технический, д. 54А, оф. 70

⁴Филиал ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» «Центрально-европейская лесная опытная станция», Россия, 156013, г. Кострома, проспект Мира, д. 134

⁵Филиал ФБУ «Рослесозащита» «Центр защиты леса Архангельской области», Россия, 163062, г. Архангельск, ул. Никитова, д. 13

o.tukavina@narfu.ru

Приведены результаты анализа резистограмм здоровых и поврежденных деструкцией стволов сосны с выявлением систематической ошибки сопротивления древесины сосны при использовании резистографа. Установлено влияние длины канала просверливания ствола на величину сопротивления сверлению древесины сосны. Указано, что при использовании резистограмм как экспресс-метода оценки качества древесины стволов необходима корректировка ее рядов данных. Предложена методика моделирования влияния глубины просверливания ствола на величину сопротивления сверлению древесины. Выявлено влияние длины канала просверливания ствола на величину систематической ошибки сопротивления сверлению древесины сосны. Систематическая ошибка сопротивления сверлению древесины сосны зависит от количества рабочих циклов бурового сверла. При количестве циклов работы до 100 систематическая ошибка составляет до 20 Resi; от 100 до 200 — от 20 до 60 Resi; более 200 — от 60 до 200 Resi. При использовании бурового сверла после 100 рабочих циклов отмечается линейная зависимость систематических ошибок сопротивления сверлению древесины сосны от длины канала просверливания ствола.

Ключевые слова: резистограф, сосна, древесина, ствол, сопротивление сверлению

Ссылка для цитирования: Тюкавина О.Н., Неверов Н.А., Мелехов В.И., Корчагов С.А., Макаров С.С., Корепин Д.Ю. Особенности интерпретации результатов резистограмм при оценке качества стволовой древесины сосны // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 2. С. 18–26.
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-18-26

Оперативные методы диагностики внутреннего состояния и свойств древесины растущих деревьев позволяют перейти к дифференцированному подходу ее использования, обеспечивая рациональное природопользование. В современный период активно развиваются методы диагностики качества древесины [1–7]. Наиболее известным и востребованным является метод, основанный на измерении сопротивления материала сверлению устройством резистограф (Rinntech, Германия) [5, 8], который применяется для оценки состояния стволовой древесины как растущих деревьев [8–18], так и древесного сырья [5–7, 19], плотности древесины [15, 20–22] и радиального прироста [23, 24]. Значения сопротивления сверлению зависят от плотности и влажности древесины [5]. Основным рабочим элементом резистографа является тонкое буровое сверло из специальной эластичной стали. При сверлении возникает сопротивление бурению, подачи сверла (крутящий момент), трению между поверхностью сверла, стружкой и поверхностью резания [25]. Программа

Descom устройства резистограф предлагает единицей измерения сопротивления древесины сверлению — Resi. Согласно М.Ф. Лаврову [19], значения Resi возрастают по мере увеличения длины канала просверливания. Для лиственницы М.Ф. Лавров [19] описал данную погрешность линейным уравнением связи. Следовательно, для того чтобы интерпретировать результаты резистографа путем сопоставления для соответствующих участков древесины плотности, влажности, прочности со значениями сопротивления сверлению, необходимо выравнивание резистограммы посредством учета погрешности.

Цель работы

Цель работы — оценка влияния длины канала просверливания ствола на величину систематической ошибки сопротивления сверлению древесины сосны.

Материалы и методы

Исследования проведены в Архангельском и Пинежском лесничестве (таблица). Объектом исследования служит сосна обыкновенная

Таксационная характеристика насаждений
Taxation characteristics of plantings

Тип леса	Состав древостоя	Средние значения		Класс возраста	Класс бонитета	Относительная полнота
		высота, м	диаметр, см			
Архангельское лесничество						
Сосняк сфагновый	10С	13	17	VI	Vб	0,3
Сосняк черничный	8С2Е+Б	21	23	VI	III	0,6
Ельник черничный	4С5Е1Ос+Б	22	24	V	III	0,6
Сосняк черничный	6С1Е2Б1Ос	21	24	V	III	0,6
Пинежское лесничество						
Сосняк черничный	2Лц5С2Е1Б	24	45	XI	III	0,6

(*Pinus sylvestris* L.). На пробных площадях Архангельского лесничества исследования проводили дважды, применяя резистограф с разной степенью затупления бурового сверла. В ельнике и сосняке черничных V класса возраста оценивали качество стволовой древесины сосны с помощью бурового сверла, использованного предварительно в менее 100 рабочих циклах, и с буровым сверлом, использованным более 200 раз. В сосняке черничном VI класса возраста применяли буровое сверло, прошедшее предварительно от 100 до 200 рабочих циклов. В сосняке сфагновом Архангельского лесничества и сосняке черничном Пинежского лесничества применяли буровое сверло, использованное предварительно более 200 раз.

Прибором резистограф (Resistograph-44538) проводили сверление стволов на высоте 1,3 м от поверхности почвы сначала с северной стороны, а затем с южной. Затем поблизости от отверстий возрастным буровым брали керн. Сопоставляли однородные участки древесины по уровню Resi при сверлении с северной и южной стороны. На каждой пробной площади исследовано по 15 деревьев. При оценке погрешности измерения сопротивления сверлению древесины сосны анализировали здоровые деревья без деструкции в стволе.

Результаты и обсуждение

При анализе резистограммы ствола растущего дерева следует обратить внимание на зоны (рис. 1). Сначала при сверлении сопротивление равно 0 Resi, но может быть и больше нуля, если в сопло иглы набилась опилки. Это зона холостого хода. Далее кора — уровень сопротивления сверления повышается.

Зона падения сопротивления сверлению после коры указывает на камбий и далее идет древесина. В зоне деструкции (см. рис. 1) можно наблюдать, что гниль распространяется участками по группам годичных колец.

У здоровых деревьев сосны можно отметить тенденцию к увеличению сопротивления сверлению с большим заглублением буровой иглы (рис. 2).

Для выявления усиления сопротивления сверлению древесины с глубиной брали резистограммы с северной и южной сторон. Последовательно находили среднее значение Resi для каждого 5-миллиметрового отрезка керна при сверлении с севера и с юга, далее сопоставляли их и усредняли значения, находили отклонения от среднего (рис. 3). Согласно графику первые 10 % диаметра ствола характеризуются ростом сопротивления сверлению. Значение данного показателя ниже усредненного между северной и южной резистограммами.

Следующий этап роста данного показателя с превышением усредненного значения отмечается на последних 10 % диаметра ствола. Если обратить внимание на рис. 1 и 2, то на входе бурового сверла после камбия рост значений Resi происходит постепенно, а на выходе он резко обрывается в области камбия. Следовательно, эти 10 % диаметра на входе бурового сверла являются этапом постепенного нарастания сопротивления сверлению древесины.

Согласно В.Ю. Чернову [22], вначале сверления до глубины 5...15 мм происходит плавное повышение мощности на микросверления относительно общего тренда, что обусловлено «облегченным» выходом стружки из отверстия и постепенным увеличением сил трения сверла о стенки отверстия и стружку. Для того чтобы мощность сверления стабилизировалась при достижении буровой иглы образца, В.Ю. Чернов [22] рекомендует вплотную к образцу устанавливать дополнительный образец древесины — «прокладку». При исследовании качества стволовой древесины растущего дерева в указанный диапазон попадает кора, а постепенное нарастание сопротивления сверлению происходит после камбия.

Для того чтобы смоделировать влияние длины канала просверливания на величину сопротивления сверлению стволовой древесины сосны на резистограмме, взятой с севера на юг, отступали расстояние, равное 10 % диаметра ствола, и сопоставляли значения Resi с соответствующим участком древесины на резистограмме взятой

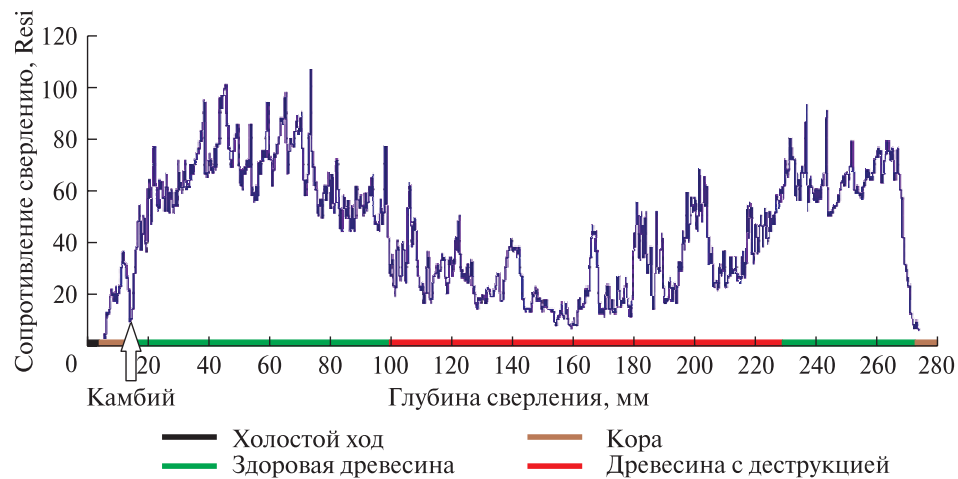


Рис. 1. Резистограмма ствола сосны с деструкцией
Fig. 1. Pine trunk with destruction resistogram

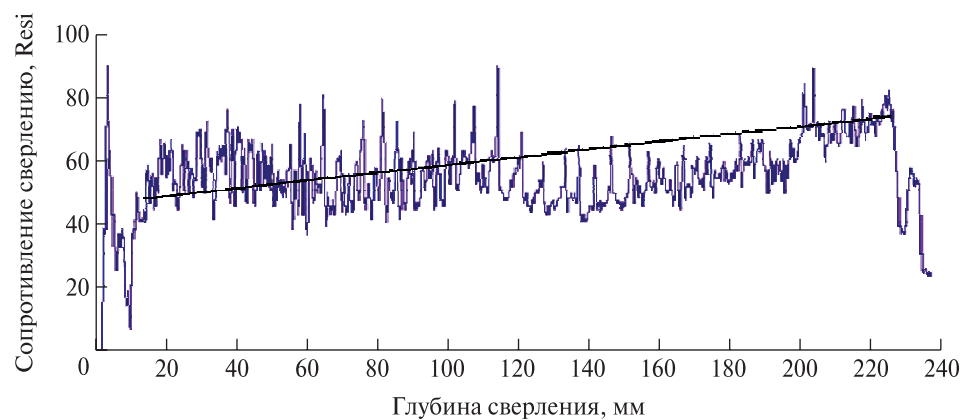


Рис. 2. Резистограмма ствола здоровой сосны
Fig. 2. Healthy pine trunk resistogram

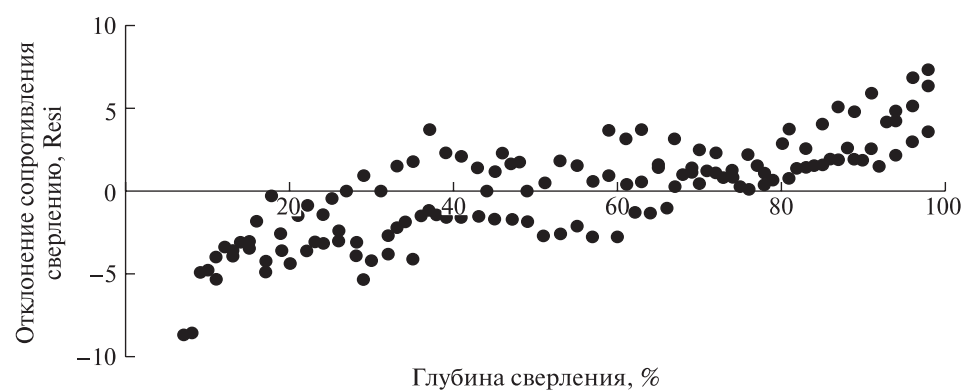


Рис. 3. Отклонения значений сопротивления сверлению древесины от среднего при засверлировании с северной и южной сторон
Fig. 3. Wood drilling resistance deviations values from the average when drilling from the north and south sides

у этого же дерева в направлении с юга на север. Аналогично сопоставили начало резистограммы, взятой с южной стороны, с концом резистограммы, взятой с северной стороны дерева. Предположим, что в начале резистограммы с установив-

шейся мощностью погрешность отсутствует и на противоположной резистограмме есть значения Resi с погрешностью для тех же самых годовичных колец. В результате, взяв деревья со стволами разного диаметра, можно смоделировать влияние

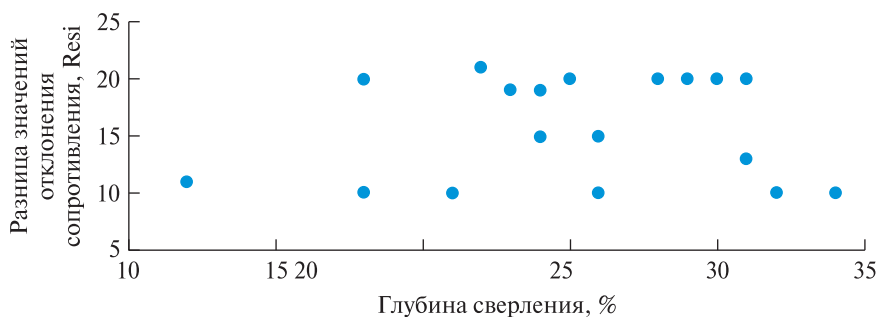


Рис. 4. Погрешность значений сопротивления сверлению в зависимости от длины канала просверливания при предварительном использовании бурового сверла менее 100 раз

Fig. 4. The error of drilling resistance values depending on the length of the drilling channel when the drill bit is previously used is less than 100 times

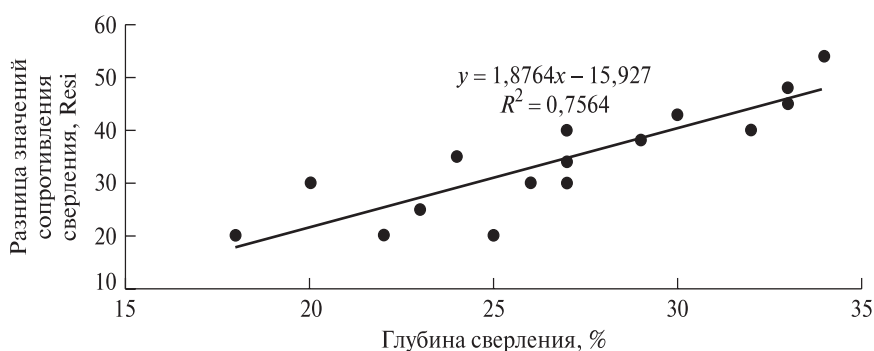


Рис. 5. Погрешность значений сопротивления сверлению в зависимости от длины канала просверливания при предварительном использовании бурового сверла от 100 и до 200 раз

Fig. 5. The error in drilling resistance values depending on the length of the drilling channel with the preliminary use of a drill bit from 100 to 200 times

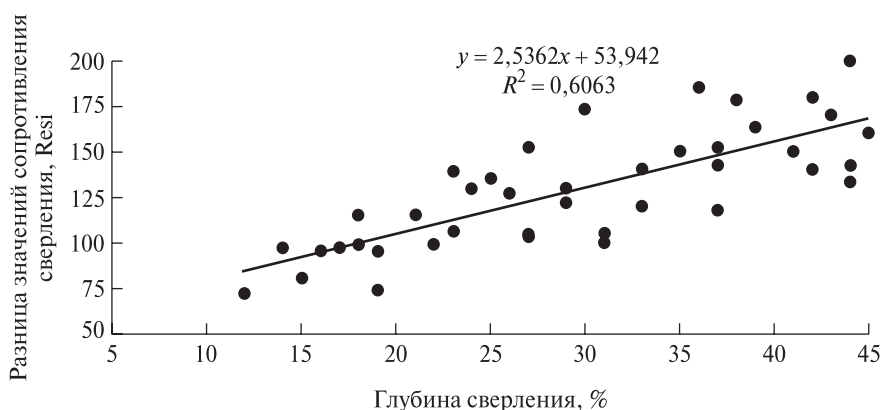


Рис. 6. Погрешность значений сопротивления сверлению в зависимости от длины канала просверливания при предварительном использовании бурового сверла более 200 раз

Fig. 6. The error of drilling resistance values depending on the length of the drilling channel when previously using the drill bit more than 200 times

глубины сверления древесины сосны на значения Resi (рис. 4–6). При этом важно учитывать количество рабочих циклов использования бурового сверла. Согласно Е.С. Шарапову [5], точность работы устройства для измерения сопротивления

сверлению в целях оценки качества древесины зависит от состояния режущих кромок тонких буровых сверл.

При использовании бурового сверла до 100 раз погрешность значений сопротивления сверлению

составляет от 10 до 20 (см. рис. 4). При этом погрешность измерений резистографа достаточно стабильна и не зависит от глубины сверления.

При использовании бурового сверла от 100 до 200 раз систематические ошибки значений сопротивления сверлению нарастают с увеличением глубины сверления и составляют от 20 до 54 (см. рис. 5). При дальнейшем увеличении количества циклов работы буровой иглы погрешность возрастает в 3 раза по сравнению с предыдущей схемой работы (см. рис. 6). Систематическая ошибка сопротивления сверлению древесины сосны в данном случае может возрасти в зависимости от глубины сверления от 75 до 200 Resi.

Таким образом, при использовании бурового сверла после 100 засверливаний отмечается линейная зависимость систематических ошибок сопротивления сверлению древесины сосны от длины канала сверления ствола.

Выводы

Глубина сверления оказывает влияние на значения сопротивления сверлению древесины, в связи с чем необходимо сглаживание рядов данных.

Систематическая ошибка сопротивления сверлению древесины сосны зависит от количества предварительно проведенных рабочих циклов буровым сверлом. При количестве циклов работы до 100 систематическая ошибка составляет до 20 Resi; от 100 до 200 — от 20 до 60 Resi; более 200 — от 60 до 200 Resi.

При использовании бурового сверла после 100 рабочих циклов отмечается линейная зависимость систематических ошибок сопротивления сверлению древесины сосны от длины канала просверливания ствола.

Список литературы

- [1] Гулизаде С.Ф. Применение акустической томографии для изучения состояния некоторых видов сосен и гледичий в условиях Абшерона // *Hortus Botanicus*, 2021. Т. 16. С. 209–218.
- [2] Кострюков А.Ю., Куницкая О.А., Григорьев И.В., Давтян А.Б. Приборный комплекс для радиографического контроля структуры древесины // *Ремонт. Восстановление. Модернизация*, 2019. № 6. С. 12–17.
- [3] Vedernikov K., Zagrebin E., Bukharina I. Specific Nature of the Biochemical Composition of Spruce Wood from the Forest Stands Exposed to Drying out in European // *Kastamonu University J. of Forestry Faculty*, 2020, т. 20, no. 3, pp. 208–219. DOI:10.17475/kastorman.849461
- [4] Терентьева Е.Б., Судакова М.С., Калашников А.Ю. Опыт применения георадарной томографии при изучении стволов деревьев // *Лесоведение*, 2020. № 3. С. 274–286.
- [5] Шарпов Е.С. Совершенствование методов и средств квазинеразрушающего контроля физико-механических свойств древесины и древесных материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.05. Архангельск, 2019. 340 с.
- [6] Kim J.H., Sutley E.J., Martin F. Merging State-of-the-Art Research with Modern Practices to Improve the Quality of Wood Structures Exposed to Decay Fungi // *Structures Congress 2019: Buildings and Natural Disasters*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2019, pp. 74–83.
- [7] Krajewski K.J. Krzysztof J. Resistograph investigation of Scots pine wood utility poles in the State Museum at Majdanek // *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW*, 2019, v. 8, pp. 58–67.
- [8] Fundova I., Funda T., Wu H.X. Non-destructive wood density assessment of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) using Resistograph and Pilodyn // *PLoS ONE*, 2018, v. 13(9), p. e0204518. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204518>
- [9] Авраменко А.А. Исследование внутреннего состояния и структуры древесины с использованием прибора Резистограф R650-SC // *Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы*, 2021. № 1 (49). С. 177–180.
- [10] Анциферов А.В. Судебные экспертизы по установлению причин падения деревьев // *Теория и практика судебной экспертизы*, 2020. Т. 15. № 2. С. 62–69.
- [11] Гревцова В.В., Яценко И.О. Диагностика внутреннего состояния стволов дуба черешчатого прибором Resistograph в дубраве главного Ботанического сада РАН // *Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных растений: от теории к практике. Материалы III Всероссийской конференции с международным участием*. Красноярск, 2022. С. 53–54.
- [12] Корниенко В. О., Приходько С. А. Новый методический подход к оценке механической устойчивости зеленых насаждений в городской среде // *Самарский научный вестник*, 2018. Т. 7. № 2 (23). С. 72–77.
- [13] Кулакова С.А. Инструментальная диагностика деревьев уличного озеленения (на примере липы сердцелистной (*Tilia cordata*)) // *Антропогенная трансформация природной среды*, 2018. № 4. С. 224–227.
- [14] Кулакова С.А., Роготнева А.М. Инструментальная оценка состояния дубовых насаждений на территории природного заповедника «Шайтан-Тай» // *Вопросы степеведения*, 2019. № XV. С. 160–164.
- [15] Рунова Е.М., Аношкина Л.В. Лесоводственно-экологическая оценка состояния сосновых древостоев в условиях городской среды // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова*, 2021. № 2 (63). С. 114–122.
- [16] Позняк С.С., Хох А.Н. Диагностика внутреннего состояния деревьев на наличие скрытых гнилей с использованием показателей сопротивления при сверлении древесины // *Сахаровские чтения 2020 года: экологические проблемы XXI века. Материалы 20-й международной научной конференции*, в 2 ч., Минск, 21–22 мая 2020 г. Минск: Информационно-вычислительный центр Министерства финансов Республики Беларусь, 2020. С. 280–284.
- [17] Сиволапов В.А., Кулаков Е.Е., Сиволапов А.И. Диагностика жизнеспособности регенерантов сорта тополя сереющего хоперский 1 и экотип лиственницы с помощью прибора RESISTOGRAPH // *Цифровые технологии в лесной отрасли. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, ВГЛТУ, 19–20 мая 2022. Воронеж: ВГЛТУ*, 2022. С. 86–91.
- [18] Танков А.А., Жамурина Н.А., Танков Д.А. Современные методы оценки аварийности деревьев // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, 2019. № 5 (79). С. 133–136.
- [19] Лавров М.Ф. Совершенствование метода оценки качества древесины лиственницы, произрастающей в климатических условиях Якутии: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.05. Якутск, 2022. 16 с.

- [20] Роготнева А.М. Инструментальная диагностика древесных насаждений Ленинского района г. Перми // Антропогенная трансформация природной среды, 2018. № 4. С. 238–240.
- [21] Рунова Е.М., Гарус И.А., Мухачева А.Н. Применение инструментальных методов при оценке состояния стволов *Pinus sylvestris* L. // Лесотехнический журнал, 2020. Т. 10. № 3 (39). С. 72–85.
- [22] Чернов В.Ю., Шарапов Е.С., Торопов А.С. Определение плотности древесины методом измерения сопротивления сверлению. Йошкар-Ола: Изд-во Поволжского ГТУ, 2019. 200с.
- [23] Авраменко А.А. Исследование внутреннего состояния и структуры древесины с использованием прибора Резистограф R650-SC // Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы, 2020. № 2 (48). С. 111–114.
- [24] Хох А.Н., Звягинцев В.Б. Новые возможности применения метода измерения сопротивления древесины сверлению в судебной экспертизе // Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы, 2021. № 1 (49). С. 118–125.
- [25] Хох А.Н., Авраменко А.А. Использование современных инструментальных методов при проведении судебно-ботанических экспертиз // Судебная экспертиза Беларуси, 2021. № 1 (12). С. 73–78.

Сведения об авторах

Тюкавина Ольга Николаевна [✉] — д-р с.-х. наук, доцент кафедры биологии, экологии и биотехнологии Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), o.tukavina@narfu.ru

Неверов Николай Александрович — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. лаборатории глубинного геологического строения и динамики литосферы Института геодинамики и геологии, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени Н.П. Лаврова» УрО РАН, na-neverov@yandex.ru

Мелехов Владимир Иванович — д-р техн. наук, профессор кафедры лесозаготовительных производств и обработки материалов Высшей инженерной школы, ФГАУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ)

Корчагов Сергей Анатольевич — д-р с.-х. наук, директор, ООО «Вологодский лесной научно-инновационный консалтинговый центр»

Макаров Сергей Сергеевич — д-р с.-х. наук, ст. науч. сотр. лаборатории недревесной продукции леса, Филиал ФБУ Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства «Центрально-европейская лесная опытная станция», makarov_serg44@mail.ru

Коребин Дмитрий Юрьевич — Инженер отдела дистанционных наблюдений и ГИС, Филиал ФБУ «Рослесозащита» «ЦЗЛ Архангельской области», korebin.mitya@yandex.ru

Поступила в редакцию 25.11.2022.

Одобрено после рецензирования 16.12.2022.

Принята к публикации 08.02.2023.

RESISTOGRAM RESULTS INTERPRETATION IN ASSESSING PINE STEM WOOD QUALITY

O.N. Tyukavina^{1✉}, N.A. Neverov², S.A. Korchagov⁴,
V.I. Melekhov¹, S.S. Makarov⁴, D.Yu. Korepin⁵

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia

²N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 23, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163000, Arkhangelsk, Russia

³Vologda Forest Scientific and Innovative Consulting Center, 54A, lane. Technical, 160032, Vologda, Russia

⁴Russian Research Institute of Forestry and Mechanization of Forestry «Central European Forest Experimental Station», 134, Prospekt Mira, 156013, Kostroma, Russia

⁵Federal State Institution «Russian Forest Protection» «Forest Protection Center of the Arkhangelsk region», 13, Nikitova st., 163062, Arkhangelsk, Russia

o.tukavina@narfu.ru

The article presents the resistogram analysis results of the healthy and damaged pine trunks with the systematic resistance error identification to drilling of pine wood when using the resistograph. The influence of the bore drilling channel length on the amount of resistance to drilling of pine wood has been established. It is indicated that when using resistograms as an express method for assessing the quality of wood trunks, it is necessary to adjust its dataset. A method of modeling the effect of the trunk drilling depth on the amount of resistance to wood drilling is proposed. The influence of the bore drilling channel length on the value of the systematic error of the resistance to pine wood drilling was revealed. The systematic error of pine wood drilling resistance depends on the number of the drill bit working cycles. When the number of work cycles is up to 100, the systematic error is up to 20 Resi; from 100 to 200 — from 20 to 60 Resi; more than 200 — from 60 to 200 Resi. When using a drill bit after 100 working cycles, a linear dependence of systematic errors of resistance to pine wood drilling on the length of the bore drilling channel is noted.

Keywords: resistograph, pine, wood, trunk, drilling resistance

Suggested citation: Tyukavina O.N., Neverov N.A., Melekhov V.I., Korchagov S.A., Makarov S.S., Korepin D.Yu. *Osobennosti interpretatsii rezul'tatov rezistogramm pri otsenke kachestva stvolovoy drevesiny sosny* [Resistogram results interpretation in assessing pine stem wood quality]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 2, pp. 18–26. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-2-18-26

References

- [1] Gulizade S.F. *Primenenie akusticheskoy tomografii dlya izucheniya sostoyaniya nekotorykh vidov sosen i gledichij v usloviyah Absherona* [Application of acoustic tomography to study the condition of some species of pines and gledias in the conditions of Absheron]. *Hortus Botanicus* [Hortus Botanicus], 2021, V. 16, pp. 209–218.
- [2] Kostryukov A.YU., Kunickaya O.A., Grigor'ev I.V., Davtyan A.B. *Pribornyy kompleks dlya radiograficheskogo kontrolya struktury drevesiny* [Instrument complex for radiographic control of wood structure] *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya* [Repair. Recovery. Modernization], 2019, no. 6, pp. 12–17.
- [3] Vedernikov K., Zagrebin E., Bukharina I. Specific Nature of the Biochemical Composition of Spruce Wood from the Forest Stands Exposed to Drying out in European. *Kastamonu University J. of Forestry Faculty*, 2020, t. 20, no. 3, pp. 208–219. DOI:10.17475/kastorman.849461
- [4] Terent'eva E.B., Sudakova M.S., Kalashnikov A.YU. *Opyt primeneniya georadarnoy tomografii pri izuchenii stvolov derev'ev* [Experience in the use of GPR tomography in the study of tree trunks]. *Lesovedenie* [Forest science], 2020, no. 3, pp. 274–286.
- [5] Sharapov E.S. *Sovershenstvovanie metodov i sredstv kvazinerazrushayushchego kontrolya fiziko-mekhanicheskikh svoystv drevesiny i drevesnykh materialov* [Improving the methods and means of quasi-non-destructive testing of the physical and mechanical properties of wood and wood materials]. *Dis. Dr. Sci. (Tech.)*, 05.21.05. Arkhangelsk, 2019, 340 p.
- [6] Kim J.H., Sutley E.J., Martin F. Merging State-of-the-Art Research with Modern Practices to Improve the Quality of Wood Structures Exposed to Decay Fungi. *Structures Congress 2019: Buildings and Natural Disasters*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2019, pp. 74–83.
- [7] Krajewski K.J., Krzysztof J. Resistograph investigation of Scots pine wood utility poles in the State Museum at Majdanek. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW*, 2019, v. 8, pp. 58–67.
- [8] Fundova I., Funda T., Wu H.X. Non-destructive wood density assessment of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) using Resistograph and Pilodyn. *PLoS ONE*, 2018, v. 13(9), p. e0204518. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204518>
- [9] Avramenko A.A. *Issledovanie vnutrennego sostoyaniya i struktury drevesiny s ispol'zovaniem pribora Rezistograf R650-SC* [Study of the internal state and structure of wood using the Resistograph R650-SC]. *Voprosy kriminologii, kriminalistiki i sudebnoy ekspertizy* [Issues of Criminology, Forensic Science and Forensic Science], 2021, no. 1 (49), pp. 177–180.
- [10] Anciferov A.V. *Sudebnye ekspertizy po ustanovleniyu prichin padeniya derev'ev* [Forensic examinations to determine the causes of falling trees] *Teoriya i praktika sudebnoy ekspertizy* [Theory and practice of forensic examination], 2020, v. 15, no. 2, pp. 62–69.

- [11] Grevcova V.V., YAcenko I.O. *Diagnostika vnutrennego sostoyaniya stvolov duba chereshchatogo priborom Resistograph v dubrave glavnogo Botanicheskogo sada RAN* [Diagnostics of the internal state of the trunks of the pedunculate oak with the Resistograph device in the oak grove of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences]. *Monitoring i biologicheskie metody kontrolya vreditel'ey i patogenov drevesnykh rasteniy: ot teorii k praktike. Materialy tret'ey Vserossiyskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem* [Monitoring and biological methods of control of pests and pathogens of woody plants: from theory to practice. Materials of the Third All-Russian Conference with international participation]. Krasnoyarsk, 2022, pp. 53–54.
- [12] Kornienko V.O., Prihod'ko S.A. *Novyy metodicheskiy podhod k ocenke mekhanicheskoy ustoychivosti zelenykh nasazhdeniy v gorodskoy srede* [A new methodological approach to assessing the mechanical stability of green spaces in an urban environment] *Samar. nauch. vestn.* [Samara Scientific Bulletin], 2018, v. 7, no. 2 (23), pp. 72–77.
- [13] Kulakova S.A. *Instrumental'naya diagnostika derev'ev ulichnogo ozeleneniya (na primere lipy serdtselistnoy Tilia cordata)* [Instrumental diagnostics of street gardening trees (on the example of the heart-leaved linden *Tilia cordata*)]. *Antropogennaya transformatsiya prirodnoy sredey* [Anthropogenic transformation of the natural environment], 2018, no. 4, pp. 224–227.
- [14] Kulakova S.A., Rogotneva A.M. *Instrumental'naya ocenka sostoyaniya dubovykh nasazhdeniy na territorii prirodnogo zapovednika «SHaytan-Tau»* [Instrumental assessment of the state of oak plantations on the territory of the Shaitan-Tau Nature Reserve]. *Voprosy stepovedeniya* [Questions of steppe studies], 2019, no. XV, pp.160–164.
- [15] Runova E.M., Anoshkina L.V. *Lesovodstvenno-ekologicheskaya ocenka sostoyaniya sosnovykh drevostoev v usloviyakh gorodskoy sredey* [Forestry and ecological assessment of the state of pine stands in the urban environment]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skhozaystvennoy akademii im. V.R.Filippova* [Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R.Filippov], 2021, no. 2 (63), pp. 114–122.
- [16] Poznyak S.S., Khokh A.N. *Diagnostika vnutrennego sostoyaniya derev'ev na nalichie skrytykh gniley s ispol'zovaniem pokazateley soprotivleniya pri sverlenii drevesiny* [Diagnostics of the internal state of trees for the presence of hidden rot using resistance indicators when drilling wood]. *Sakharovskie chteniya 2020 goda: ekologicheskie problemy XXI veka. Materialy 20-y mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, v 2 ch.* [Sakharov Readings 2020: environmental problems of the XXI century. Proceedings of the 20th International Scientific Conference, at 2 t], Minsk, May 21–22, 2020. Minsk: Information and Computing Center of the Ministry of Finance of the Republic of Belarus, 2020, pp. 280–284.
- [17] Sivolapov V.A., Kulakov E.E., Sivolapov A.I. *Diagnostika zhiznesposobnosti regenerantov sorta topolya sereyushchego khoperskiy 1 i ekotip listvennitsy s pomoshch'yu pribora RESISTOGRAPH* [Diagnostics of the viability of regenerants of the gray poplar variety Khopersky 1 and the larch ecotype using the RESISTOGRAPH device]. *Tsifrovye tekhnologii v lesnoy otrasli. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Digital technologies in the forestry industry. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference], VGLTU, May 19–20, 2022. Voronezh: VGLTU, 2022, pp. 86–91.
- [18] Tankov A.A., ZHamurina N.A., Tankov D.A. *Sovremennyye metody ochenki avariynosti derev'ev* [Modern methods of assessing the accident rate of trees] *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [News of the Orenburg State Agrarian University], 2019, no. 5 (79), pp. 133–136.
- [19] Lavrov M.F. *Sovershenstvovanie metoda otsenki kachestva drevesiny listvennitsy, proizrastayushchey v klimaticheskikh usloviyakh Yakutii* [Improving the method for assessing the quality of larch wood growing in the climatic conditions of Yakutia]. *Dis. Cand. Sci. (Tech.)*, 05.21.05. Yakutsk, 2022, 16 p.
- [20] Rogotneva A.M. *Instrumental'naya diagnostika drevesnykh nasazhdeniy Leninskogo rayona g. Permi* [Instrumental diagnostics of tree plantings of the Leninsky district of Perm']. *Antropogennaya transformatsiya prirodnoy sredey* [Anthropogenic transformation of the natural environment], 2018, no. 4, pp. 238–240.
- [21] Runova E.M., Garus I.A., Muhacheva A.N. *Primenenie instrumental'nykh metodov pri ocenke sostoyaniya stvolov Pinus sylvestris L.* [Application of instrumental methods in assessing the condition of the trunks of *Pinus sylvestris* L.]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Journal], 2020, v. 10, no. 3 (39), pp. 72–85.
- [22] Chernov V.Yu., Sharapov E.S., Toropov A.S. *Opreделение плотности древесины методом измерения сопротивления сверлению* [Determination of wood density by measuring drilling resistance]. *Yoshkar-Ola: Publishing House of the Volga State Technological University*, 2019, 200 p.
- [23] Avramenko A.A. *Issledovanie vnutrennego sostoyaniya i struktury drevesiny s ispol'zovaniem pribora Rezistograf R650-SC* [Investigation of the internal state and structure of wood using the Resistograph R650-SC device]. *Voprosy kriminologii, kriminalistiki i sudebnoy ekspertizy* [Questions of criminology, criminology and forensic examination], 2020, no. 2 (48), pp. 111–114.
- [24] Hoh A.N., Zvyaginets V.B. *Novyye vozmozhnosti primeneniya metoda izmereniya soprotivleniya drevesiny sverleniyu v sudebnoy ekspertize* [New possibilities of using the method of measuring the resistance of wood to drilling in forensic examination]. *Voprosy kriminologii, kriminalistiki i sudebnoy ekspertizy* [Questions of criminology, criminology and forensic examination], 2021, no. 1 (49), pp. 118–125.
- [25] Khokh A.N., Avramenko A.A. *Ispol'zovanie sovremennykh instrumental'nykh metodov pri provedenii sudebno-botanicheskikh ekspertiz* [The use of modern instrumental methods in the conduct of forensic botanical examinations]. *Sudebnaya ekspertiza Belarusii* [Forensic examination of Belarus], 2021, no. 1 (12), pp. 73–78.

Authors' information

Tyukavina Ol'ga Nikolaevna✉ — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, o.tukavina@narfu.ru

Neverov Nikolay Aleksandrovich — Cand. Sci. (Agriculture), Senior researcher of Laboratory of the Deep Geological Structure and Dynamics of the Lithosphere of the Institute of Geodynamics and Geology of the Federal Research Center for the Integrated Study of the Arctic of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences named after N.P. Laverov, na-neverov@yandex.ru

Melekhov Vladimir Ivanovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Logging Production and Materials Processing of the Higher School of Engineering, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Korchagov Sergey Anatol'evich — Dr. Sci. (Agriculture), Director, LLC «Vologda Forest Scientific and Innovative Consulting Center», Kors45@yandex.ru

Makarov Sergey Sergeevich — Dr. Sci. (Agriculture), Senior researcher. Laboratories of non-wood forest products, Branch of the All-Russian Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization «Central European Forest Experimental Station», makarov_serg44@mail.ru

Korepin Dmitriy Yur'evich — Engineer of the Department of Remote Observations and GIS, Federal State Institution «Russian Forest Protection» «Forest Protection Center of the Arkhangelsk region», korepin.mitya@yandex.ru

Received 25.11.2022.

Approved after review 16.12.2022.

Accepted for publication 08.02.2023.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest