

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 630*2(075)

DOI: 10.18324/2077-5415-2021-2-63-69

Влияние ветровой нагрузки на образование пороков в растущих деревьях

О.И. Григорьева^{1a}, И.В. Григорьев^{2b}, А.Б. Давтян^{3c}, В.А.Иванов^{4d}, О.И. Гринько^{4e},
Н.В. Швабова^{4f}, А.Ю. Калита^{5j}

¹ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, Россия

² Арктический государственный агротехнологический университет, ш. Сергеляхское, 3 км, 3, Якутск, Россия

³ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр. Революции, 19, Воронеж, Россия

⁴ Братский государственный университет, Макаренко, 40, Братск, Россия

⁵ Тихоокеанский государственный университет, Тихоокеанская, 13б, Хабаровск, Россия

^a grigoreva_o@list.ru, ^b silver73@inbox.ru, ^c armen_davtyan_2019@inbox.ru ^d ivanovva55@mail.ru, ^e goi2@yandex.ru, ^f natashashvabova@icloud.com, ^j Alexgrushina@mail.ru

^a <https://orcid.org/0000-0001-5937-0813>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>,

^c <https://orcid.org/0000-0002-4175-7996>, ^d <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>,

^e <https://orcid.org/0000-0003-1011-0329>, ^f <https://orcid.org/0000-0001-9853-0672>,

^j <https://orcid.org/0000-0002-5571-8074>

Статья поступила 26.03.2021, принята 17.04.2021

Взаимное влияние ветровой нагрузки и лесных насаждений достаточно хорошо изучено как учеными – лесоведами, так и представителями других научных специальностей. Получены данные о воздействии ветровой нагрузки на ветровал и бурелом, прирост насаждений, а также способность сомкнутых лесных насаждений снижать скорость и силу ветра. Вместе с тем, как показал анализ открытых литературных источников и данных информационной сети Интернет, за рамками исследований остался вопрос о влиянии ветровой нагрузки на качество древесины, произрастающей в сомкнутом насаждении. Очевидно, что практически для каждой местности по многолетним наблюдениям и построенной на их основе розе ветров можно определить преобладающие силу и направление ветра. Зная особенности влияния ветровой нагрузки на качество получаемых после рубки насаждения лесоматериалов можно в естественных лесах уточнять процент выхода деловой и низкокачественной древесины, а при плантационном выращивании леса целевым образом влиять на этот показатель, высаживая сеянцы или саженцы с учетом этих данных и климатических особенностей участка, на котором располагается лесная плантация. В данной статье предпринята попытка проанализировать с точки зрения законов механики особенности появления пороков у растущих деревьев под воздействием ветровой нагрузки. Безусловно, данный вопрос нуждается в дальнейшем изучении, включая продолжительные натурные эксперименты. Авторы выражают глубокую признательность коллегам по научной школе «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства» за ценные сведения и замечания, высказанные при подготовке данной работы.

Ключевые слова: лес и ветер, ветровая нагрузка на лес, качество древесины, лесные плантации, целевое выращивание леса.

Influence of wind load on the formation of defects in growing trees

O.I. Grigorjeva^{1a}, I.V. Grigorjev^{2b}, A.B. Davtyan^{3c}, V.A. Ivanov^{4d}, O.I. Grinko^{4e}, N.V. Shvabova^{4f},
A.Yu. Kalita^{5j}

¹ St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov; 5, Institutsky Per., St. Petersburg, Russia

² Arctic State Agrotechnological University; 3, Sergelyakhskoe Shosse, Yakutsk, Republic of Sakha

³ Voronezh State University of Engineering Technologies; 19, Revolutsii Prospect, Voronezh, Russia

⁴ Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

⁵ Pacific State University; 13b, Tikhookeanskaya St., Khabarovsk, Russia

^a grigoreva_o@list.ru, ^b silver73@inbox.ru, ^c armen_davtyan_2019@inbox.ru ^d ivanovva55@mail.ru, ^e goi2@yandex.ru, ^f natashashvabova@icloud.com, ^j Alexgrushina@mail.ru

^a <https://orcid.org/0000-0001-5937-0813>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-5574-1725>,

^c <https://orcid.org/0000-0002-4175-7996>, ^d <https://orcid.org/0000-0003-0707-972X>,

^e <https://orcid.org/0000-0003-1011-0329>, ^f <https://orcid.org/0000-0001-9853-0672>,

^j <https://orcid.org/0000-0002-5571-8074>

Received 26.03.2021, accepted 17.04.2021

The mutual influence of wind load and forest stands is quite well studied, both by forest scientists and representatives of other scientific specialties. Data on the impact of wind load on wind and windbreak, the growth of stands, as well as the ability of closed forest stands to reduce wind speed and strength are obtained. At the same time, as the analysis of open literature sources and data of the Internet information network has shown, the problem of the influence of wind load on the quality of wood growing in a closed plantation remains outside the scope of research. It is obvious that for almost every area, according to long-term observations, and the wind rose built on their basis, it is possible to determine the prevailing wind strength and direction. Knowing the peculiarities of the influence of wind load on the quality of timber obtained after logging, it becomes possible, in natural forests, to specify the percentage of yield of business and low-quality wood, and in the case of plantation forest cultivation, to influence this indicator in a targeted way by planting seedlings or saplings, taking into account these data and the climatic characteristics of the site where the forest plantation is located. In this article, an attempt is made to analyze, from the point of view of the laws of mechanics, the features of the appearance of defects in growing trees under the influence of wind load. Of course, this issue needs further study, including long-term field experiments. The authors express their deep gratitude to their colleagues at the scientific school "Innovative Developments in the field of logging industry and forestry" for the valuable information and comments made during the preparation of this work.

Keywords: forest and wind, wind load on the forest, wood quality, forest plantations, target forest cultivation.

Введение. В настоящее время в Российской Федерации все отчетливее наблюдается дефицит качественного сырья для лесопиления, деревянного домостроения, производства фанеры. Это связано с несколькими факторами, к которым можно отнести прежде всего: постепенное истощение спелых доступных эксплуатационных лесов, связанный с этим постоянный рост среднего расстояния вывозки заготовленной древесины, некачественное восстановление ранее вырубленных лесных массивов, отсутствие в нашей стране практики целевого выращивания лесоматериалов на лесных плантациях [1, 2].

Накопление в лесах России большого количества низкокачественной древесины уже достаточно давно является значимой проблемой, которая заставляет лесопромышленные предприятия подстраивать свои технологические цепочки под ее переработку [3, 4].

Влияние ветра на лес уже достаточно давно изучается учеными – лесоводами. В частности, в [5] указано, что положительным воздействием ветра на лес при определенной интенсивности является рыхление почвенного слоя за счет раскачивания деревьев, что также способствует развитию их корневых систем, обогащению почвенного слоя влагой и углекислым газом, активизации процессов транспирации и фотосинтеза, улучшению температурного режима (включая снижение влияния заморозков, за счет перемешивания теплого и холодного слоев воздуха) и освещенности под пологом древостоя. Кроме этого, к полезным для леса свойствам ветра относят перенос пыльцы и семян, осушение верхних слоев переувлажненных почвогрунтов. К негативным факторам воздействия сильного ветра на лесонасаждения принято относить чрезмерное высушивание почвенного слоя, что вызывает дефицит влаги, который, в свою очередь, приводит к снижению прироста. Это наблюдается при скорости ветра от 15 км/ч и более [6].

В районах с развитой промышленностью, например, в районах расположения целлюлозно-бумажных, алюминиевых и т.п. комбинатов ветер переносит на большие расстояния промышленные выбросы в виде газов, аэрозолей, что приводит к деградации лесных массивов, вплоть до их полного усыхания [7-9].

Ветровая нагрузка значительно влияет на формирование ствола, вызывает прикорневые наплывы, повреждает корневые системы деревьев, способствует охлестыванию при переносе снега и песка вызывая корро-

зию коры у стволов деревьев. Кроме того, длительное воздействие ветра с одной стороны приводит к формированию у деревьев флагообразной кроны, и даже эксцентричности на поперечном срезе ствола, которая образуется за счет задержки тока пластических веществ по лубу и неравномерного развития камбия под влиянием напряжений, возникающих в стволах [5].

У деревьев стволы имеют более широкие годовичные кольца с заветренной стороны, а эксцентричность резче выражена у основания стволов. В сторону преобладающих ветров формируется «флаг» кроны, туда же сильнее развиваются и корневые системы, что объясняется постоянным разрывом корней со стороны ветра [5].



Рис. 1. Искривление стволов сосны под односторонним действием ветровой нагрузки

Помимо этого, постоянно действующая с одной стороны ветровая нагрузка может приводить к значи-

тельному искривлению самих стволов (до саблеобразной формы) деревьев. На рис. 1 представлен результат такого воздействия, сфотографированный авторами на территории Регионального ландшафтного заказника «Муромский» (Республика Карелия).

Цель работы: в настоящей работе сделана попытка проанализировать с позиции механики влияние ветровой нагрузки на возникновение пороков стволов у деревьев, растущих в сомкнутом древостое.

Материалы и методы исследования. Для получения данных использовались методы натуральных наблюдений и анализа.

Результаты исследования. Для определения опрокидывающего момента, возникающего при действии ветровой нагрузки на дерево, в [6] предлагается использовать следующее выражение:

$$M = P \cdot S \cdot C \cdot v^2 \cdot K, \quad (1)$$

где: P – расстояние от основания ствола до геометрического центра кроны, м; C – постоянное число, равное 0,125; v – скорость ветра, м/с; S – проективная площадь наветренной части кроны, м²; K – коэффициент поглощения ветра кроной (для ели $K=0,98-0,92$; для березы $K=0,7-0,57$; для осины $K=0,67-0,49$).

Для расчетов по формуле (1) в [6] рекомендуется определять проективную площадь наветренной части кроны для ели как площадь равнобедренного треугольника с геометрическим центром на одной трети высоты треугольника. Для березы и осины – как площадь эллипса, геометрический центр которого находится в центре эллипса.

Оказывая сопротивление ветровой нагрузке, лес, в свою очередь, ослабляет ветер. Этот эффект зависит от состава, полноты и высоты древостоя. Согласно рекомендациям [6], скорость ветра в чистом сосновом древостое высотой 20 м и полнотой 0,5 может быть определена по формуле

$$\hat{v} = \left[2,2 \frac{x}{2} - 0,8 \left(\frac{x}{2} \right)^2 + 0,1 \left(\frac{x}{2} \right)^3 + 0,003 \left(\frac{x}{2} \right)^4 \right] * (0,07v + 0,06), \quad (2)$$

где: \hat{v} – скорость ветра в древостое, м/с; x – высота над уровнем почвогрунта, м; v – скорость ветра на открытом пространстве, м/с.

Формула (2) косвенно позволяет оценивать ветровую нагрузку на древостой в целом, а формула (1) на единичное дерево в древостое.

С позиции математического моделирования интересные для нашего исследования результаты получены в работах [10-14]. В частности, проанализированы математические модели ветроустойчивости одиночных деревьев, а также их возможные уточнения при рассмотрении влияния ближайших деревьев на устойчивость дерева к ветровой нагрузке с переходом к ветроустойчивости насаждения в целом. Отмечено, что значение и распределение действующей на дерево ветровой нагрузки и возникающего в результате изгибающего момента зависят от типа корневой системы, формы и размеров кроны, высоты ее расположения и густоты, а также от скорости ветра.

Обычно изгиб дерева под действием ветровой нагрузки описывается как консоль, нагруженная действием распределенной поперечной нагрузки. Это допущение основывается на нескольких факторах: длина стержня много больше диаметра, в этом случае растяжением можно было пренебречь и рассматривать вариант чистого изгиба. При этом в начальном положении поперечное сечение можно рассматривать плоским и перпендикулярным к оси изгиба ствола [14]. Тогда напряжение волокон будет пропорционально расстоянию от нейтральной оси, которая определяется линией нулевого напряжения. Деформация древесины ствола описывается согласно закону Гука.

Схожие подходы используют при моделировании групповой механической окорки длинномерных лесоматериалов (учета воздействия изгиба). Результаты работ [15-21] убедительно показывают, что изгибные нагрузки оказывают существенное влияние на деформации наружных слоев стволов деревьев. Например, в [16] представлены графические зависимости растягивающих и сжимающих напряжений на поверхности длинномера, который является хорошей моделью ствола дерева для рассматриваемого в данной статье вопроса (рисунки 2, 3).

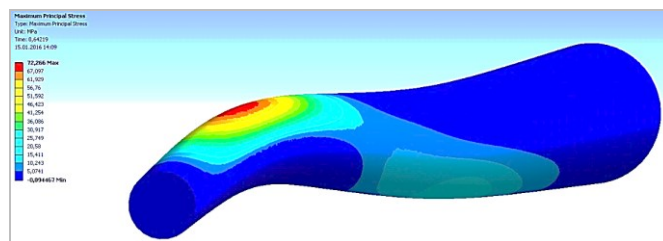


Рис. 2. Распределение растягивающих напряжений

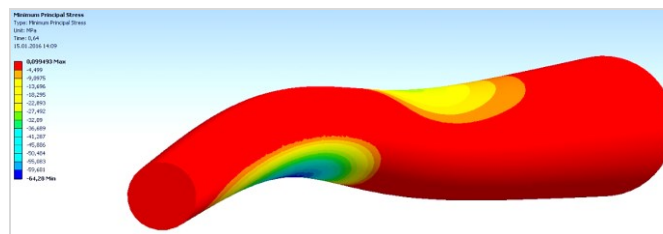


Рис. 3. Распределение сжимающих напряжений

В [13] предложены парциальные функции экологической полезности для оценки ветроустойчивости однопородных насаждений в зависимости от взаимного расположения деревьев. Вычислены оптимальные значения числа связей с соседними деревьями и относительной высоты над пологом леса, характеризующие максимальную устойчивость дерева к ветровому воздействию.

В [12] предложены два вида характеристик насаждения: вертикальный параметр, характеризующий проекцию насаждения на вертикальную плоскость, и горизонтальные параметры, характеризующие проекцию на горизонтальную плоскость. Каждая из характеристик включает в себя понятия и параметры, влияющие на ветроустойчивость.

Анализ ранее опубликованных работ по воздействию ветровой нагрузки на отдельно стоящие деревья и сомкнутые древостои показывает, что авторы уделяли внимание, прежде всего, ветроустойчивости, оценке вероятности возникновения ветровала и бурелома. Однако можно утверждать, что длительно действующая, односторонняя, ветровая нагрузка будет оказывать влияние на качество древесины и без таких катастрофических последствий, как ветровал или бурелом.

Напряженное состояние древесины в стволе растущего дерева зависит от множества показателей, относящихся к особенностям структуры, к условиям произрастания, к наследственности, к внешним нагрузкам.

Будем рассматривать дерево как природное одностоечное сооружение, вертикально закрепленное в грунте.

Стойки – стволы деревьев – имеют сложную, приближенно коническую форму с различной сбежистостью, разными диаметрами по высоте, асимметричное поперечное сечение, особенно у комлевой части. Плотность, влажность и другие физико-механические свойства древесины ствола существенно различны как в поперечном сечении, так и по высоте [22, 23]. Заболонная древесина ядровых пород обладает более высокой влажностью, и разница во влажности достигает 2-3 кратной. Поскольку жидкость можно считать несжимаемой, то ее количество оказывает большое влияние на физико-механические свойства.

Если к вершинной части ствола приложена ветровая нагрузка, то линия ее изгиба близка к параболической с наибольшим прогибом в вершине.

Корневая система дерева выполняет несколько жизненно-важных функций, в том числе как способ закрепления стойки-ствола в грунте. Как уже было отмечено, развитие корневой системы относительно условий оси ствола почти всегда несимметрично. Это вызвано, с одной стороны, различием питательных свойств почвы и наличием корневых систем соседних деревьев, с другой – внешними нагрузками на систему ствола. Ограниченные питательные возможности почвы вынуждают выживать только сильные корневые системы деревьев, а слабые выжить не могут. Взаимная связь корневых систем соседних деревьев способствует устойчивости всех деревьев в лесном массиве.

Можно предположить, что многие «болезни», то есть порокообразующие дефекты ствола во многом зависят от здоровья корневой системы, от ее питающей и удерживающей способности.

Крона дерева включает массив крупных сучьев и мелких сучков, ветвей и листьев. Не вдаваясь в полезность кроны для всего дерева, остановимся на ее конструктивных особенностях. Внешние очертания кроны различных деревьев меняются от пирамидальных до шарообразных, разных форм и размеров. Важнейшим конструктивным свойством кроны является ее переменная парусность. Гибкость сучьев и ветвей увеличивается от места их вставания к вершинкам. Чем сильнее ветер, тем больше, изгибаясь, «складываются» сучья и ветви, и тем меньше становится парусность

кроны. Это свойство кроны помогает дереву противостоять ветровым нагрузкам, а в зимнее время и снеговым, так как снег легче сдувается с кроны. Очень важной «конструктивной» особенностью кроны является ее асимметрия относительно ствола дерева. Асимметрия кроны обусловлена различной освещенностью, тепловым солнечным воздействием, соседством других деревьев, рельефными и другим условиями роста.

Нагрузки, действующие на растущее дерево, разделим условно на постоянные и переменные. К постоянным нагрузкам относятся сила тяжести и ветровое воздействие. Для всякого поперечного сечения ствола, начиная от комля, действующая на него сила тяжести от выше расположенных частей дерева неодинакова, но ее действие постоянно. Сила и направление ветра также непостоянны, но ветер почти всегда есть. Для отдельных регионов и даже небольших территорий существуют характерные «розы ветров», в том числе и для целых лесных массивов. Однако для большинства деревьев в массиве существует своя, индивидуальная «роза ветров», то есть свое преобладающее направление и сила ветра [13]. Это обусловлено составом насаждения, возрастом деревьев и запасом леса на гектаре. Не случайно качания деревьев в массиве при ветре отличаются по направлению, амплитуде и частоте.

Необходимо заметить, что сила тяжести кроны и ствола непостоянны, так как биомасса кроны и влажность древесины ствола меняются по сезонам.

Снеговую нагрузку следует отнести к переменной, так как ее действие нельзя считать длительным из-за зимних ветров.

Смещенный относительно продольной оси центр тяжести ствола в сочетании со смещением центра тяжести асимметричной кроны с учетом снеговой нагрузки создают внецентренное сжатие ствола. Такое сжатие убывает по некоторому закону от максимального значения у комля до минимального в вершинной части. Не вдаваясь в методику расчета напряжений сжатого условно ортотропно-анизотропного стержня (ствола) переменной жесткости по высоте с приближенно известными координатами приложенных сил. Подчеркнем лишь тот факт, что напряжения сжатия древесины в сечениях ствола наибольшие в той части, куда смещены внецентренные силы. Следовательно, интенсивность роста клеточной структуры древесины в этой части сечения будет замедлена. Однако общий годовой прирост остается постоянным за счет ослабленного сжатия в противоположной части сечения, где толщина слоев ранней и поздней древесины оказывается больше.

Кроме внецентренного сжатия ствол одновременно испытывает воздействие ветра. Асимметрия кроны обуславливает возникновение кручения, совмещенного с изгибом, ствола. Крутящий момент в бессучковой зоне ствола оказывается постоянным и наибольшим, а от нижней части кроны до вершины он убывает от максимального значения до нуля. Совместно с крутящим моментом на ствол действуют изгибающие моменты, эпюра распределения которых по высоте ствола имеет

довольно сложный вид, от максимальных значений в комлевой части до нуля в вершине.

Касательные и нормальные напряжения в древесине, обусловленные крутящими и изгибающими моментами, зависят не только от их величин, но и от формы и площади сечений внецентренного сжатого ствола. Ветровая нагрузка даже при воздействии в преобладающем направлении непостоянна по величине. Она меняется от полного безветрия и жестоких порывов до длительно дующих ветров. Поэтому деревья почти постоянно качаются, силы упругости стремятся возратить отклоненное ветром дерево в состояние покоя. Но возврат дерева в состояние покоя имеет колебательный характер, обусловленный влиянием сил инерции. Влияют ли колебания (амплитуда, частота и направление) на рост дерева и на остаточные напряжения в древесине ствола, пока неизвестно. Можно лишь предположить, что остаточные напряжения могут уничтожаться, если колебания примерно одинаковые, но разнонаправленные.

Если же внецентренное сжатие, изгиб и кручение ствола имеют длительное доминирующее направление, то остаточные касательные и нормальные напряжения в древесине ствола могут не только накапливаться, но и фиксироваться, то есть закрепляться. Процесс закрепления напряжений можно объяснить следующим образом. Пусть растущее дерево имеет фиксированные значения указанных воздействий длительное время. Вновь нарастающая структура древесины таких воздействий не испытывает, поскольку ствол зафиксирован. Если нарастающий объем «новой» древесины достаточно велик, то после снятия указанных воздействий полученные ранее деформации и напряжения «старой» древесины не могут полностью уничтожиться, хотя часть их и будет воспринята «новой» древесиной, но с противоположными знаками. Иначе говоря, полного упругого восстановления не происходит, напряжения «застаиваются», остаются внутри ствола. Если искусственно разрушить связь «старой» и «новой» древесины, то и та и другая окажутся разгруженными, сохранившиеся силы упругости восстановят ранее полученные деформации. Не случайно в лесопилении встречаются с виду отличные бревна пиловочника, при распиловке которых вразвал на хорошо налаженных лесопильных станках доски с начала выхода из станка приобретают кривизну или крыловатость.

Если в «старой» древесине произошла релаксация деформаций, то есть упругие деформации полностью перешли в пластические, то упругого восстановления не происходит. Ранее деформированные слои «старой» древесины остаются искривленными, а слои «новой» древесины оказываются прямыми.

Процесс накопления деформаций сводится к тому, что нагрузка на дерево остается фиксированной, а по мере роста и развития кроны и ствола она увеличивается. Нарастающие слои «новой» древесины деформируются в том же направлении, что и слои «старой» древесины. Чередование сезонов, то есть солнечная радиа-

ция, тепло и холод (до не полного промерзания) в сочетании с колебаниями дерева скорее всего ускоряют релаксацию напряжений в древесине ствола. Известно, что при температуре около 160°C древесина становится пластичной, следовательно, при меньших температурах можно ожидать ускорения релаксации.

Характерными сортообразующими пороками древесины, вызванными накоплением деформаций, являются косослой, волнистая или путаная свилеватость, крень и кривизна ствола.

Известно, что косослой снижает физико-механические свойства древесины, особенно сопротивление статическому изгибу, растяжению вдоль волокон и вдоль оси ствола. Повышается коробление и образование трещин при сушке. Кренивая древесина отличается повышенной на 15-40 % плотностью и твердостью по сравнению с нормальной. А расположенная противоположно крени в поперечном сечении ствола тяговая древесина имеет повышенную на 10-12% по сравнению с нормальной прочностью на растяжение вдоль волокон, а прочность на сжатие меньше. Но коль скоро площадь сечения тяговой древесины больше чем кренивой, то нагрузки сжатия они выдерживают с одинаковым успехом, в противоположном случае неизбежно появление кривизны ствола.

Другим характерным сортообразующим пороком древесины, обусловленным накоплением упругих деформаций, является появление различного вида трещин: простой и сложный метик, шильфер - разновидность метика, отлуп, трещины сжатия. Все зависит от величины и скорости приложенных нагрузок, а также от величины и направления накопленных упругих деформаций для одной и той же древесины. Известно, что если взять отрезок ствола с нормальной древесиной, приложить крутящий момент, попытаться его согнуть, то прежде всего появится трещина по волокнам. И наоборот, если аналогичный образец изогнуть и попытаться закрутить - эффект такой же. Те, кто плетет корзины из прутьев, хорошо знают, что если пруттик сначала принудительно скручивать, то он легче гнется. Это искусственный косослой с меньшим сопротивлением изгибу. Если же закрутить и изогнуть сильнее, то непременно появятся трещины, которые можно обнаружить отпустив пруттик.

Трещины в стволовой древесине появляются, как правило, на участке ствола от комля до кроны. Именно на этом участке накапливается максимум внутренних напряжений, которые нередко достигают критических значений, превышающих допустимые для данной древесины, то есть к появлению разного рода трещин.

Выводы. Приведенный в статье анализ влияния ветровой нагрузки на качество древесины в сомкнутом древостое может служить основой для дальнейших, более подробных исследований, с точки зрения оптимизации пространственного размещения деревьев, например, при создании лесных культур [24] или для уточнения возможного количества низкокачественной древесины в насаждении, отводимом в рубку.

Литература

1. Куницкая О.А., Бурмистрова С.С. Проблема заготовки и обработки низкотоварной древесины в Рос. Федерации // Актуальные направления науч. исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 2-3 (7-3). С. 78-82.
2. Куницкая О.А. Актуальные проблемы лесозаготовительного производства в России на рубеже 2015 г. // Актуальные направления науч. исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 5-4 (10-4). С. 183-186.
3. Куницкая О.А. Перспективы развития нижних лесопромышленных складов // Актуальные направления науч. исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 2-2 (13-2). С. 246-249.
4. Куницкая О.А. Ресурсы низкотоварной древесины в субъектах Рос. Федерации // Наука, образование, инновации в приграничном регионе: материалы республиканской науч.-практической конф. (29 янв. 2015 г.). Петрозаводск: ПетрГУ, 2015. С. 15-17.
5. Иванчина Л.А., Залесов С.В. Устойчивость деревьев ели с различным типом ветвления в условиях Прикамья // Вестн. Омского гос. аграрного ун-та. 2018. № 1 (29). С. 12-18.
6. Зарудный И.Н. Лесоводство. Л.: ЛТА, 1970. 96 с.
7. Рунова Е.М., Аношкина Л.В., Крамская Н.В. Состояние интродуцентов в урбоэкосистемах Сибири // Системы Методы Технологии. 2013. № 1 (17). С. 157-160.
8. Чжан С.А., Пузанова О.А., Рунова Е.М. Современное состояние сосновых лесов Приангарья // Успехи современного естествознания. 2013. № 7. С. 52-53.
9. Рунова Е.М., Чжан С.А., Пузанова О.А. Влияние длительного загрязнения промышленными выбросами на жизнеспособность светлохвойных таежных лесов // Системы Методы Технологии. 2015. № 1 (25). С. 162-168.
10. Захаров Ю.В., Суховольский В.Г. Модели устойчивости деревьев и насаждений к воздействию ветра // Лесоведение. 2004. № 2. С. 61-67.
11. Захаров Ю.В., Филенкова Н.В., Суховольский В.Г. Упруго закреплённый стержень и колонна на упругом основании под действием поперечной нагрузки: модели двух предельных случаев ветроустойчивости дерева // Вестн. КрасГУ. Физико-математические науки. 2006. № 1. С. 16-20.
12. Филенкова Н.В., Суховольский В.Г., Захаров Ю.В., Овчинникова Н.Ф. Кластерная модель ветроустойчивости деревьев с учетом ближайших соседей // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. 28. № 1-2. С. 91-97.
13. Филенкова Н.В., Захаров Ю.В., Суховольский В.Г. Влияние взаимного расположения деревьев на ветроустойчивость одноярусных древесных насаждений // Хвойные бореальной зоны. 2006. Т. 23. № 3. С. 120-125.
14. Zakharov Yu.V., Okhotkin K.G., Filenkova N.V., Vlasov A.Yu. Exact and approximate formulas for deflections of an elastically fixed rod under transverse loading // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2007. V. 48. № 1. P. 126-134.
15. Куницкая О.А., Колесников Г.Н., Лукин А.Е., Григорьев И.В. Повышение эффективности групповой окорки длинномерных лесоматериалов: моногр. Петрозаводск: ПетрГУ, 2016. 107 с.
16. Куницкая О.А., Лукин А.Е., Колесников Г.Н., Тихонов Е.А., Тюрикова Т.В. Численное моделирование процесса окорки длинномерных сортиментов в барабанах // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2016. № 3 (351). С. 135-146.
17. Колесников Г.Н., Григорьев И.В., Лукин А.Е., Куницкая О.А. Теоретический анализ особенностей групповой окорки длинномерных лесоматериалов // Resources and Technology. 2016. V. 13. № 2. P. 59-65.
18. Куницкая О.А., Колесников Г.Н., Лукин А.Е., Куницкая Д.Е. Особенности окорки длинномерных сортиментов с учетом сбega в окорочных барабанах // Инженерный вестн. Дона. 2015. № 3 (37). С. 164.
19. Куницкая О.А., Лукин А.Е. Обоснование направления уточнения математической модели групповой окорки лесоматериалов для условий окорки длинномеров // Актуальные направления науч. исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 2-2 (13-2). С. 430-433.
20. Куницкая О.А., Лукин А.Е., Куницкая Д.Е. Моделирование процессов групповой механической окорки // Актуальные направления науч. исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 7-2 (18-2). С. 59-63.
21. Куницкая О.А., Лукин А.Е., Колесников Г.Н., Тихонов Е.А. Компьютерное моделирование процесса окорки длинномерных лесоматериалов в коротких барабанах // Актуальные направления науч. исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 9-3 (20-3). С. 263-267.
22. Никитина Т.А., Шестаков Ю.Д., Лабудин Б.В., Куницкая О.А., Тихонов Е.А., Калита А.Ю. Прочностной ресурс древесины лиственницы беломорского севера при сжатии в главных и диагональных осях анизотропии // Деревообрабатывающая пром-сть. 2020. № 4. С. 21-31.
23. Тамби А.А., Юркова О.В., Куницкая О.А., Степанищева М.В. Исследование влияния физических свойств и строения древесины сосны на ее прочность // Системы Методы Технологии. 2017. № 4 (36). С. 157-161.
24. Kunickaya O., Tanyukevich V.V., Khmeleva D.V., Kulik A., Runova E.M., Savchenkova V., Voronova A.M., Lavrov M.F. Cultivation of the targeted forest plantations // Journal of Environmental Treatment Techniques. 2020. V. 8. № 4. P. 1385-1393.

References

1. Kunickaya O.A., Burmistrova S.S. The problem of preparation and processing of low-grade wood in the Russian Federation // Aktual'nye napravleniya nauch. issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2014. V. 2. № 2-3 (7-3). P. 78-82.
2. Kunickaya O.A. Actual problems of logging production in Russia at the turn of 2015 // Aktual'nye napravleniya nauch. issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2014. V. 2. № 5-4 (10-4). P. 183-186.
3. Kunickaya O.A. Prospects of lower timber warehouses // Aktual'nye napravleniya nauch. issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2015. V. 3. № 2-2 (13-2). P. 246-249.
4. Kunickaya O.A. Resources of low-grade wood in the subjects of the Russian Federation // Nauka, obrazovanie, innovacii v prigranichnom regione: materialy respublikanskoj nauch.-prakticheskoy konf. (29 yanv. 2015 g.). Petrozavodsk: PetrGU, 2015. P. 15-17.
5. Ivanchina L.A., Zalesov S.V. Stability of spruce trees with different types of branching in the conditions of the Kama region // Vestnik of Omsk SAU. 2018. № 1 (29). P. 12-18.
6. Zarudnyj I.N. Forest science. L.: LTA, 1970. 96 p.
7. Runova E.M., Anoshkina L.V., Kramskaya N.V. The state of introducents in urban ecosystems of Siberia // Systems Methods Technologies . 2013. № 1 (17). P. 157-160.
8. CHzhan S.A., Puzanova O.A., Runova E.M. Modern state of pine forests in the Angara region // Advances in current natural sciences. 2013. № 7. P. 52-53.
9. Runova E.M., CHzhan S.A., Puzanova O.A. Influence of long-term pollution by industrial emissions on the viability of light-coniferous taiga forests // Systems Methods Technologies. 2015. № 1 (25). P. 162-168.

10. Zaharov YU.V., Suhovol'skij V.G. Models of stability of trees and plantings to wind impact // Russian Journal of Forest Science. 2004. № 2. P. 61-67.
11. Zaharov YU.V., Filenkova N.V., Suhovol'skij V.G. Elastically fixed rod and column on an elastic base under the action of a transverse load: models of two limiting cases of wind resistance of a tree // Bulletin of KrasGU. Physical and mathematical sciences. 2006. № 1. P. 16-20.
12. Filenkova N.V., Suhovol'skij V.G., Zaharov YU.V., Ovchinnikova N.F. Cluster model of tree weather resistance taking into account the nearest neighbors // Conifers of the boreal area. 2011. V. 28. № 1-2. P. 91-97.
13. Filenkova N.V., Zaharov YU.V., Suhovol'skij V.G. Influence of the mutual arrangement of trees on the wind resistance of single-tier tree plantation // Conifers of the boreal area. 2006. V. 23. № 3. P. 120-125.
14. Zakharov Yu.V., Okhotkin K.G., Filenkova N.V., Vlasov A.Yu. Exact and approximate formulas for deflections of an elastically fixed rod under transverse loading // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2007. V. 48. № 1. P. 126-134.
15. Kunickaya O.A., Kolesnikov G.N., Lukin A.E., Grigor'ev I.V. Improving the efficiency of group debarking of long-length timber: monogr. Petrozavodsk: PetrGU, 2016. 107 p.
16. Kunickaya O.A., Lukin A.E., Kolesnikov G.N., Tihonov E.A., Tyurikova T.V. Numerical modeling of the debarking process of long-length varieties in drums // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2016. № 3 (351). P. 135-146.
17. Kolesnikov G.N., Grigor'ev I.V., Lukin A.E., Kunickaya O.A. Theoretical analysis of the characteristics of debarking long lesoma materials group // Resources and Technology. 2016. V. 13. № 2. P. 59-65.
18. Kunickaya O.A., Kolesnikov G.N., Lukin A.E., Kunickaya D.E. Features of debarking of long-length sortiments taking into account run-off in ham bars // Engineering journal of Don. E-journal. 2015. № 3 (37). P. 164.
19. Kunickaya O.A., Lukin A.E. Substantiation of the direction of refinement of the mathematical model of group debarking of wood products for the conditions of debarking of long-range meters // Aktual'nye napravleniya nauch. issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2015. V. 3. № 2-2 (13-2). P. 430-433.
20. Kunickaya O.A., Lukin A.E., Kunickaya D.E. Modeling of group mechanical debarking processes // Aktual'nye napravleniya nauch. issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2015. V. 3. № 7-2 (18-2). P. 59-63.
21. Kunickaya O.A., Lukin A.E., Kolesnikov G.N., Tihonov E.A. Computer modeling of the debarking process of long-length timber in short drums // Aktual'nye napravleniya nauch. issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2015. V. 3. № 9-3 (20-3). P. 263-267.
22. Nikitina T.A., Shestakov YU.D., Labudin B.V., Kunickaya O.A., Tihonov E.A., Kalita A.YU. Strength resource of larch wood of the White Sea north under compression in the main and diagonal axes of anisotropy // Derevoobrabativaushaya promishlennost' (Woodworking industry). 2020. № 4. P. 21-31.
23. Tambi A.A., Yurkova O.V., Kunickaya O.A., Stepanishcheva M.V. Investigation of the influence of physical properties and structure of pine wood on its strength // Systems Methods Technologies. 2017. № 4 (36). P. 157-161.
24. Kunickaya O., Tanyukevich V.V., Khmeleva D.V., Kulik A., Runova E.M., Savchenkova V., Voronova A.M., Lavrov M.F. Cultivation of the targeted forest plantations // Journal of Environmental Treatment Techniques. 2020. V. 8. № 4. P. 1385-1393.