

Хачатуров, В. Л. Афанасьев, В. С. Васильев и др.—М.: Машиностроение, 1976.—536 с. [3]. Дмитриев А. Ф. Исследование динамической нагруженности сортиментовоза // Научно-технический прогресс на предприятиях лесного комплекса Карелии Тез. докл.—Петрозаводск, 1988.—С. 22. [4]. Дмитриев А. Ф., Тарасевич В. Э., Демин К. К. Подборник-сортиментовоз на рубках промежуточного пользования // Лесн. пром-сть.—1985.—№ 6.—С. 18—19. [5]. Жуков А. В. Теоретические основы выбора технических параметров и улучшения эксплуатационных свойств специальных лесных машин: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук.—Л., 1978.—36 с. [6]. Казаков И. Е. Статистическая теория системы управления в пространстве состояний.—М.: Наука, 1975.—432 с.

Поступила 3 февраля 1993 г.

УДК 630*181.23

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДРЕВОСТОЯ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

А. К. ЛЕОНТЬЕВ

С.-Петербургская лесотехническая академия

Общий анализ воздействия ветра на отдельное дерево и группу деревьев

Взаимодействие отдельного дерева, группы деревьев и леса с окружающей средой многопланово. Ветер оказывает как физиологическое, так и физическое влияние [5]. Физиологическое его воздействие связано с изменением микроклимата, т. е. влажности воздуха, облачности и характеристик тепломассообмена кроны дерева с окружающей средой.

Физическое воздействие ветра сказывается прежде всего на форме кроны. На открытом месте, где дуют ветры постоянного направления и достаточно большой силы, у деревьев формируется крона с минимальным аэродинамическим сопротивлением, а ствол имеет большую конусность. В местности, где скорость ветра невелика и направления его различны, деревья имеют симметричную крону и слабоконусные стволы.

Экспериментально установлена также связь скорости роста дерева с воздействием ветра. В опытах Л. А. Иванова [3] получено, что деревья, интенсивно раскачиваемые ветром одного направления, росли на 25 % медленнее, чем привязанные к неподвижным опорам. У них оказались меньше и диаметр, и общий объем ствола. Воздействие ветра проявляется и в объеме корневой системы. Как правило, у деревьев, подверженных постоянному воздействию ветра, корневая система более разветвленная и мощная, чем у растущих в защищенных местах. Повидимому, ветры сравнительно небольшой силы и разных направлений способствуют ее развитию и усиливают интенсивность обмена в листьях (или хвое), что, в свою очередь, должно благоприятно влиять на общие процессы метаболизма, рост отдельных элементов, а значит, и всего дерева.

Увеличение скорости ветра свыше 10 м/с, как правило, уже неблагоприятно сказывается на росте дерева. Такие ветры интенсивно раскачивают отдельно стоящие деревья, срывают листья, ломают ветви, могут сломать ствол и даже вырвать дерево с корнем (при скорости больше 15... 20 м/с). Конкретное воздействие сильного ветра на дерево (бурелом или ветровал) зависит от породы, морфологии отдельного дерева, его возраста, расположения на местности, времени года (густота кроны и прочность грунта) и др., т. е. имеет многофакторный характер и вероятностную природу. Однако ряд факторов всегда неблагоприятно влияет на сопротивляемость дерева сильному ветру. Это поверхностное расположение корневой системы, дефекты ствола, большая

площадь кроны на большом расстоянии от земли. Их сочетание будет вызывать бурелом или ветровал при более слабом ветре, чем каждый фактор в отдельности.

В естественном лесу обычно сосуществуют деревья разных пород, возрастов и морфологий, поэтому бурелом или ветровал наиболее слабых деревьев в лесу возможен при сравнительно небольшой скорости ветра (10...15 м/с). Увеличение ее до 25 м/с приводит уже к массовым буреломам и ветровалам. Особенно опасны ветры со скоростью более 25 м/с (бури, ураганы), при которых на больших площадях деревья оказываются сломанными или вырванными с корнями.

О величине убытков лесному хозяйству, связанных с сильными ветрами, можно судить хотя бы по такому примеру. Ураган, прошедший над Западной Европой 12 ноября 1972 г. со скоростью ветра 60 м/с, повалил и сломал деревья в ФРГ, ГДР и Голландии общим объемом $25 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ на площади примерно 150 тыс. га.

Отдельно растущие деревья, как правило, при прочих равных условиях, больше подвержены воздействию ветра, чем группы однородных деревьев. Это объясняется тем, что под пологом групп интенсивность влияния ветра на отдельные деревья уменьшается, а значит, снижается и вероятность ветролома или ветровала.

Рассмотрим кратко влияние отдельных факторов на повреждаемость дерева ветром.

Сила ветра. При увеличении скорости ветра всегда возрастает вероятность повреждения дерева. Сравнительно слабый ветер (8...10 м/с) может срывать листву и ломать слабые ветки; ветер со скоростью 12...16 м/с интенсивно раскачивает стволы и ломает крупные ветки. Увеличение ее свыше 18 м/с приводит к повреждению дерева, ветровалу и бурелому. Характер ветра также влияет на повреждаемость дерева. Как правило, ветер переменной интенсивности (порывистый) наиболее опасен, так как раскачивает отдельные деревья, частота колебаний которых близка к частоте порывов ветра (явление резонанса).

Порода. Строение кроны, высота дерева, характер корневой системы зависят от породы, а поскольку именно эти факторы определяют активность взаимодействия ветра с деревом, то порода является одним из важных факторов, влияющих на ветровал и бурелом.

Наиболее устойчивы к ветровым воздействиям породы деревьев, имеющих разветвленную и глубокую корневую систему. Это дуб, сосна, клен, лиственница, пихта, граб. К ветровалу склонны деревья с поверхностной корневой системой: ель, береза, бук.

Бурелому больше подвержены деревья с мягкой, непрочной древесиной, например осина и липа.

Возраст дерева. Молодые деревья с цельным здоровым стволом более стойки к воздействию ветра, чем старые, имеющие поражение ствола или очень высокую крону.

Грунт. На сопротивляемость ветровалу сильное влияние оказывает характер грунта (почвы), на котором растет дерево. На механически не прочном, рыхлом, влажном грунте оно более склонно к ветровалу, чем на прочном, плотном.

Время года. С этим фактором связана как сила и характер ветра, так и состояние кроны, ствола дерева и самого грунта. На зимней, сухой и промерзшей почве опасность ветровала меньше, чем на осенней влажной, непромерзшей. На голую зимнюю крону без снега ветер оказывает меньшее силовое давление, чем на облиственную весной, летом и осенью.

Состояние древостоя существенно влияет на повреждаемость деревьев ветром. Если ствол или корневая система поражены

гнилями, то вероятность бурелома или ветровала сильно возрастает.

Как уже указывалось, сильный ураганный ветер при скорости выше 15 м/с (50 км/ч) может нанести ущерб лесному хозяйству на большой площади лесов. Повреждение ветром отдельно стоящего дерева безусловно менее опасно, чем массовый ветролом, но оно может быть также значительным, если дерево упадет на рядом стоящее строение, транспортное средство или человека (!). Такие случаи характерны для деревьев, растущих в черте населенных пунктов, в скверах, садах и парках.

Весьма актуальной задачей является создание научных основ прогнозирования стойкости отдельных деревьев к воздействию ветра. Оно позволит своевременно выбраковывать наиболее склонные к ветровалу и бурелому деревья и тем самым сводить к минимуму ущерб.

Различные аспекты проблемы взаимодействия ветра и отдельно стоящего дерева, а также группы деревьев, изучаются как в нашей стране, так и за рубежом.

Краткий обзор публикаций о влиянии ветра на древостой

В работе [2] даны следующие весьма красноречивые описания воздействия ветра на древостой: «Благодаря порывистым ветрам они (деревья) раскачиваются, ломаются при слишком большой амплитуде колебаний или же вырываются с корнем. Опасность особенно велика, когда удаляется сдерживающий воздействие ветра заслон из оставленных по краю насаждений стволов, лишенных до самого низа ветвей, или же когда сомкнутое насаждение прореживается рубками или лесосеками». Понимание важности проблемы бурелома и ветровала привело к тому, что в последнее время в отечественной и зарубежной литературе появился ряд работ, посвященных экспериментальному и теоретическому исследованию отдельных вопросов силового воздействия ветра на дерево.

В работе [8] представлены результаты изучения в лабораторных условиях воздействия ветра на модельные деревья, помещенные в аэродинамическую трубу длиной 7 м. Цель опытов — изучить влияние размещения деревьев и профиля опушки леса на изгиб деревьев, вызываемый ветром. Опыты проводили с деревьями четырех хвойных пород: ели обыкновенной, сосны обыкновенной, жетсуги тиссолистной и тсуги канадской.

Измерения показали, что изгибающий ветровой момент в первых четырех рядах насаждений уменьшается быстро, а затем значительно медленнее. Кроме того, установлено, что на его значения во всех насаждениях влияют, с одной стороны, размеры соседних деревьев, с другой — их отсутствие. Удаление одного дерева с наветренной стороны другого приводило к удвоению изгибающего момента. Деревья, расположенные в конце просек, ширина которых превышает высоту дерева, подвергались значительно большим изгибающим моментам, чем стоящие на наветренной стороне модели насаждений лесных культур.

Подробное рассмотрение различных сторон воздействия ветра на отдельное дерево и лес приведено в работе [1]. Для расчета равнодействующей силы ветра на дерево R С. В. Белов предлагает формулу

$$R = C_f S \frac{\rho V^2}{2},$$

где C_f — коэффициент аэродинамического сопротивления дерева воздействию ветра;

S — площадь миделевого сечения кроны;

ρ — плотность воздуха;

V — скорость ветра.

Согласно этой формуле для крон ели густых, средней густоты и редких C_f имеет значения соответственно 0,6; 0,5 и 0,4.

Изгибающий момент силы ветра определяют по формуле

$$M = RL.$$

Автор не дает определения величины L , хотя по своей сути она должна быть равна расстоянию от поверхности земли до центра приложения сил аэродинамического давления на дерево. Далее он рассчитывает статические напряжения, возникающие в древесине ствола для пяти типичных форм дерева от действия ветровой нагрузки и силы тяжести кроны и ствола, вызванной наклоном дерева.

По мнению С. В. Белова, невозможно было рассчитать устойчивость деревьев против повала из-за множества неизвестных параметров почвы и корневой системы. В работе [1] приведен ряд интересных фактических данных о критических скоростях ветра, при которых начинается массовый ветровал и бурелом деревьев, и экспериментально полученных значениях критического момента силы, при котором наблюдается слом ствола дерева или его повал с корнем.

Минимальной критической скоростью ветра, вызывающей бурелом или ветровал дерева, автор считает 25...30 м/с.

Он приводит экспериментальные значения частот колебаний деревьев. При их высоте 18...25 м период колебаний составляет 4...7 с, т. е. частота равна 0,15...0,25 Гц.

К основным недостаткам работы [1] следует отнести расчет только статических сил, действующих на ствол дерева, в то время как в реальных условиях они динамические. Особую опасность представляют переменные ветровые нагрузки с частотой, близкой к частоте собственных колебаний дерева (0,15...0,25 Гц [1]). При резонансных явлениях статическая нагрузка может быть много меньше динамической, тем не менее происходят ветровал или бурелом. Нельзя также полностью согласиться с мнением С. В. Белова о невозможности создать схему расчета ветрвала дерева из-за неопределенности характеристик грунта и корневой системы.

А. М. Межибовский [4] на основании анализа бурелома ели констатирует, что «устойчивость дерева к бурелому в большинстве случаев зависит от положения гнили в стволе, от сопротивления древесины на излом и лишь незначительно — от протяженности живой кроны». По его материалам, буреломные стволы деревьев ели поражены гнилями на 96,5 %. Из общего числа таких стволов 91 % имеют высоту излома до 4 м от земли. Большинство гнилей, обнаруженных автором на упавших деревьях, развивались именно на этой высоте.

В работе [7] подробно изложены результаты экспериментального исследования аэродинамического взаимодействия трех специально отобранных экземпляров лжетсуги тиссолистной (*Dougllass-fir*) с ветром различной скорости (2,42; 5,08 и 6,75 м/с). Высота деревьев лжетсуги 26...30 м, возраст 40 лет, диаметр ствола на высоте 1,3 м 0,44; 0,38 и 0,26 м.

Получены графики зависимости отклонений дерева от частоты порывов ветра в пологе леса для трех значений скорости. Из опытных данных следует, что периоды раскачки деревьев не обязательно совпадают с периодом турбулентных пульсаций силы ветра, однако вероятность ветрвала наибольшая всегда в условиях резонанса дерева, т. е. когда частоты порывов ветра и колебаний дерева совпадают (или близки). Опытным путем получен период собственных колебаний деревьев от 4 до 5 с.

Работа [7] производит впечатление незавершенности, поскольку в ней нет аналитических связей между выходными и входными парамет-

рами, не изучен сам процесс ветровала и не проанализирована роль различных факторов, приводящих к разрушению ствола дерева.

Е. Б. Скворцова [6] сделала попытку создать схему расчета процесса ветровала отдельного дерева. Она указывает, что среди различных факторов ветер является наиболее существенной причиной выворачивания деревьев. Если он обладает достаточной силой и действует в течение длительного времени, то выворачиваются совершенно здоровые деревья и даже их группы с мощной корневой системой. Рассматривая схему взаимодействия ветра с отдельным деревом, автор делает следующие принципиальные допущения.

1. Сила сцепления корневой системы с грунтом в момент отрыва становится равной нулю, одновременно на всей площади контакта с почвой.

2. Для деревьев с хорошо развитой кроной силой, вызывающей ветровал, можно пренебречь.

3. Ствол дерева, крона и корни рассматриваются как абсолютно неупругие системы.

Таким образом, здесь также изучаются только статические силы, действующие на крону дерева со стороны атмосферного воздуха. Проведенные автором [6] расчеты показали, что даже незначительное уменьшение размеров дерева существенно затрудняет ветровал.

Основным недостатком работы [6] является неучет динамического воздействия на дерево со стороны ветра, особенно при переменных скоростях ветра, что существенно изменяет как форму связи между действующими силами, так и количественные характеристики ветровала. Кроме того, в работе [6] нет ни одного примера расчета ветровала в результате действия на конкретное дерево соответствующих сил, что, по-видимому, объясняется неопределенностью взаимодействия корневой системы дерева с грунтом.

Такие же трудности возникают при расчете процесса бурелома, однако это не означает, что не следует улучшать саму расчетную схему процессов и, в частности, строить такую схему на основе рассмотрения динамического взаимодействия дерева с атмосферным воздухом, т. е. с учетом сил инерции движения дерева и присоединенной массы воздуха. Для построения схемы необходимо правильно записать математическое уравнение взаимодействия дерева с воздухом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Белов С. В. Ветер — главный фактор, определяющий форму стволов деревьев и их устойчивость // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение: Межвуз. сб. науч. тр. ЛТА.— Л., 1974.— Вып. 3.— С. 3—24. [2]. Вальтер Г. Общая геоботаника.— М.: Мир, 1982.— 261 с. [3]. Иванов Л. А. О влиянии ветра на рост деревьев // Бот. журн. СССР.— 1934.— Т. 19.— С. 211—219. [4]. Межибовский А. М. Исследование факторов, влияющих на ветровал и бурелом ели // Лесн. журн.— 1970.— № 4.— С. 141—145.— (Изв. высш. учеб. заведений). [5]. Мелехов И. С. Лесоведение.— М.: Лесн. пром-сть, 1980.— 408 с. [6]. Скворцова Е. Б. К оценке сил, вызывающих падение деревьев и образование выворотов // Вестн. МГУ. Сер. 17. Почвоведение.— 1977.— № 2.— С. 36—40. [7]. Holbo H. R., Corbett T. C., Horton P. I. Aeromechanical behavior of Selected Douglass-fir // Agricultural Meteorol.— 1980.— Vol. 21, N 2.— P. 81—91. [8]. Roberts E. F. Modelle von Forstkulturen im Windkanal // Allgemeine Forstzeitschrift.— 1970.— N 12.— S. 266—267.

Поступила 7 декабря, 1992 г.