

Современные методы оценки аварийности деревьев

А.А. Танков, к.с.-х.н., администрация г. Оренбурга;
Н.А. Жамурина, к.б.н., ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ;
Д.А. Танков, к.с.-х.н., филиал ФГУ «Рослесозащита» – «ЦЗЛ Оренбургской области»

Вопрос контроля состояния зелёных насаждений в населённых пунктах становится всё острее и актуальней.

Древесно-кустарниковая растительность в условиях промышленной агломерации подвергается техногенной нагрузке. Как итог, – деревья теряют жизнеспособность, со временем усыхают и отмирают. Такие ослабленные деревья, своевременно не удалённые, становятся потенциальным источником опасности для жизни граждан и их имущества.

Для выявления опасности падения деревьев у экспертов существует три метода:

1. Визуальный (осмотр дерева с земли, с подъёмом на ствол, осмотр местности);
2. Ретроспективный (опрос владельцев участка, изучение проектной документации по выполненным работам, изучение ветровой нагрузки участка, установление предыдущих случаев падения деревьев);
3. Инструментальный (инвазивный контроль, неинвазивный контроль и прямое испытание прочности и устойчивости – «Pulling test»).

Несмотря на то, что падение деревьев является проблемой практически для всех городов России, до сих пор не существует единой общепринятой методики по определению аварийных деревьев. Сведения, имеющиеся в нормативно-правовых документах и рекомендациях, отрывочны, значения показателей в различных источниках не совпадают, как и само число учитываемых показателей.

Визуальная оценка состояния зелёных насаждений широко применяется при определении факторов (их присутствие, местонахождение, размеры и т.д.), влияющих на прочность и устойчивость деревьев.

В настоящее время визуальное обследование зелёных насаждений состоит в причислении отдельно взятых деревьев к той или иной категории состояния в рамках подходящей лингвистической шкалы [1, 2]. Применение такой шкалы удобно, поскольку человеку проще дать качественную, чем количественную оценку интенсивности проявления признака. Однако несмотря на удобство использования лингвистическая шкала привносит нечёткость в оценку данных, так как не позволяет применять методы традиционной математической обработки [3].

Поэтому существует необходимость разработать новые методы к установлению степени аварийности деревьев в городских условиях.

Цель исследования – разработка нового методического подхода к установлению степени аварийности деревьев с применением методов ассоциативных правил, нечёткой логики и многомерных статистических методов.

В целях формирования норм аварийности деревьев зачастую применяют традиционные статистические процедуры, позволяющие обобщить исходные данные.

Следует отметить, что, как правило, используемые статистические методы, описывающие исходные данные или обнаруживающие между ними взаимосвязи, основываются на концепции усреднения выборок и опираются на гипотезу определённого распределения данных [4].

В этой связи интерес представляет нахождение типичных шаблонов аварийных деревьев, их своеобразных портретов, включающих в себя перечень наиболее распространённых дефектов, проявляющихся совместно. Хорошие перспективы для подобных исследований раскрывают ассоциативные правила вида «Из события А следует событие В» [2].

Основные характеристики ассоциативного правила – поддержка и достоверность. Поддержка ассоциативного правила – число событий, которые содержат и условие, и следствие, т.е. и А и В. Достоверность ассоциативного правила – вероятность того, что из события А следует событие В.

В данном исследовании была поставлена **задача** установления закономерности следующего вида: «Если дерево имеет набор дефектов А, то можно сделать вывод, что на этом же дереве также должен иметься набор дефектов В».

Материал и методы исследования. В качестве исходных материалов использовались данные лесопатологической экспертизы аварийных деревьев вяза мелколистного Кольцовского бульвара в г. Воронеже с применением инструментальных методов анализа [5]. Использование указанных данных представляет интерес в связи с тем, что при определении скрытых гнилей древесины использовались приборы Арботом 3D и Резистограф 4452-S (фирмы Rinntect) со специализированным программным обеспечением. Соответственно имелись численные значения объёма стволовой гнили (%).

Для поиска ассоциативных правил использовался модуль «Sequence, Association, and Link Analysis» пакета прикладных программ Statistica 8.

Для осуществления процедуры нечёткого вывода был использован пакет Fuzzy Logic Toolbox вычислительной среды MatLab.

Результаты исследования. Практика показывает, что дефекты у деревьев часто наблюдаются не

по одному, а по несколько сразу. Причём одни сочетания встречаются довольно часто, другие – весьма редко.

Для достижения цели исследования проведена оценка применимости метода ассоциативных правил для учёта сочетаний дефектов деревьев. В работе использовано 14 показателей (табл. 1).

Дефекты, выявленные при обследовании деревьев, для удобства были закодированы: X₁ – наличие сухой вершины, X₂ – наличие сухой кроны, X₃ – облом вершины, X₄ – обрезка крупных скелетных ветвей, X₅ – наличие бактериальной водянки, X₆ – механические повреждения ствола, X₇ – наличие крупных наклонённых ветвей, X₈ – наличие двух вершин, X₉ – наличие деформации ствола, X₁₀ – язва ствола, X₁₁ – сухобочина, X₁₂ – рак, X₁₃ – объём стволовой гнили, X₁₄ – наклон ствола.

Для каждого аварийного дерева было указано наличие (код – 1) либо отсутствие (код – 0) для дефектов X₁–X₁₂.

Для поиска ассоциативных правил данные по объёму стволовой гнили были разбиты в соответствии с рекомендациями [6, 7]: от 5 до 39% – низкое значение объёма стволовой гнили (НЗ); от 40 до 79% – среднее значение объёма стволовой гнили (СЗ); более 80% – высокое значение объёма стволовой гнили (ВЗ).

Также были разбиты данные по наклону ствола [6]: до 10% – низкое значение наклона ствола (НЗ); от 11 до 40% – среднее значение наклона ствола (СЗ); более 40% – высокое значение наклона ствола (ВЗ).

Некоторые из возможных парных ассоциативных правил, в которых объём стволовой гнили

выступает в качестве предпосылки или следствия ассоциативного правила, представлены в таблице 2.

Рассматривая эти два частных случая, можно утверждать:

1. Если на стволе аварийного дерева вяза мелколистного присутствует бактериальная водянка, ствол имеет механические повреждения и низкое значение наклона, то с достоверностью 100% в стволе также имеется стволовая гниль среднего объёма;

2. Если на стволе аварийного дерева вяза мелколистного присутствует бактериальная водянка, ствол имеет среднее значение наклона ствола, то с достоверностью 83% в стволе также имеется стволовая гниль высокого объёма.

Таким образом, анализ статистических данных, проведённый на основе методов поиска ассоциативных правил, позволяет выявлять закономерности совместного присутствия дефектов на стволе аварийных деревьев. Однако выявление ассоциативных правил выполняет роль поддержки принятия решений, а окончательный результат может быть получен только исходя из экологического анализа выявленных закономерностей.

Традиционно задача определения аварийности деревьев решалась путём визуального обследования зелёных насаждений и преимущественно учитывался один дефект – наклон ствола. Перспективным подходом для решения таких задач является использование методов теории нечётких множеств [8]. Для большей точности следует учитывать данные инструментальных обследований деревьев.

Содержательная постановка задачи заключается в описании совместного проявления дефектов

1. Распространение некоторых видов дефектов на стволах аварийных деревьев вяза

№ дерева	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄
3	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	ВЗ	НЗ
4	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	ВЗ	НЗ
5	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	СЗ	НЗ
6	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	СЗ	НЗ
7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	ВЗ	СЗ
8	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	СЗ	НЗ
10	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	НЗ	НЗ
16	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	СЗ	НЗ
17	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	СЗ	НЗ
18	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	СЗ	НЗ
21	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	ВЗ	СЗ
22	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	ВЗ	СЗ
23	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	ВЗ	СЗ
26	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	НЗ	СЗ
27	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	ВЗ	СЗ
28	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	ВЗ	СЗ

2. Некоторые ассоциативные правила комбинации дефектов на стволах аварийных деревьев вяза приземистого в условиях г. Воронежа

Условие	==>	Следствие	Поддержка, %	Достоверность, %	Лифт
X ₅ , X ₆ , НЗ X ₁₄	==>	СЗ X ₁₃	25,0000	100,0000	2,66667
X ₅ , СЗ X ₁₄	==>	ВЗ X ₁₃	37,5000	85,7143	1,71429

стволов вяза мелколистного. Предполагается, что степень аварийности деревьев зависит от совместного проявления дефектов. При этом нужно учитывать специфику взаимодействия. Так, при минимальном проявлении стволовой гнили и минимальном наклоне ствола дерево, по-видимому, нельзя считать аварийным. При максимальных значениях развития стволовой гнили и наклона ствола степень аварийности дерева будет однозначно максимальной. Однако на практике существует множество возможных сочетаний дефектов.

Таким образом, используя описательное содержание вариантов совместного проявления дефектов ствола, можно формализовать все основные правила нечёткого вывода степени аварийности деревьев.

Теория нечётких множеств ранее уже использовалась для выполнения содержательной постановки и формализации задачи возможных повреждений деревьев при повале [3].

Назначим нечёткие функции принадлежности дефектов, обуславливающих аварийность деревьев. Обычно при решении подобных задач [9, 10] принимают минимальное значение функции принадлежности равное трём, благодаря чему можно обойтись небольшим объёмом базы правил. В данном случае, поскольку работа имеет поисковый характер, будет наиболее рационально принять от двух до трёх значений входных и двух значений выходной лингвистических переменных. Входными величинами задачи принимаются виды дефектов ствола в зависимости от их проявления:

- SK – сухая крона (сухая крона отсутствует – SKO, дерево имеет сухую крону – SKI);
- MP – механические повреждения ствола (механические повреждения ствола отсутствуют –

MPO; имеются механические повреждения ствола – MPI);

- BV – бактериальная водянка (бактериальная водянка отсутствует – BVO; бактериальная водянка имеет место – BVI);
- NS – наклон ствола (малый – MN, средний – SN, опасный – ON);
- SG – значение объёма стволовой гнили (низкое – NZSG; среднее – SZSG; высокое – VZSG);
- OKSV – обрезка крупных скелетных ветвей (отсутствие обрезки крупных скелетных ветвей – KSV0; обрезка крупных скелетных ветвей имела место – KSVI).

Выходной величиной является степень аварийности деревьев: StAvar – аварийность дерева (неаварийное дерево – NAD; аварийное дерево – AD).

Реализация задачи нечёткого вывода выполнена (рис.) по известной [8, 9] методике: фаззификация (введение нечёткости); формирование базы правил; нечёткий вывод (рис.); дефаззификация (приведение к чёткости) (рис.).

Из примера реализации нечёткого вывода видно, что при следующих входных переменных: наличие сухой кроны, механическое повреждение ствола, бактериальная водянка ствола и объём стволовой гнили – 49% получили чёткое значение выходной переменной, равное 1,47. Степень аварийности определяется в диапазоне [0 2] от неаварийного к аварийному дереву. Соответственно, дерево было идентифицировано как аварийное.

Выводы. Проведённые исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Предлагаемый инструмент анализа сочетания дефектов ствола позволяет строить причинно-следственные отношения между дефектами, осно-

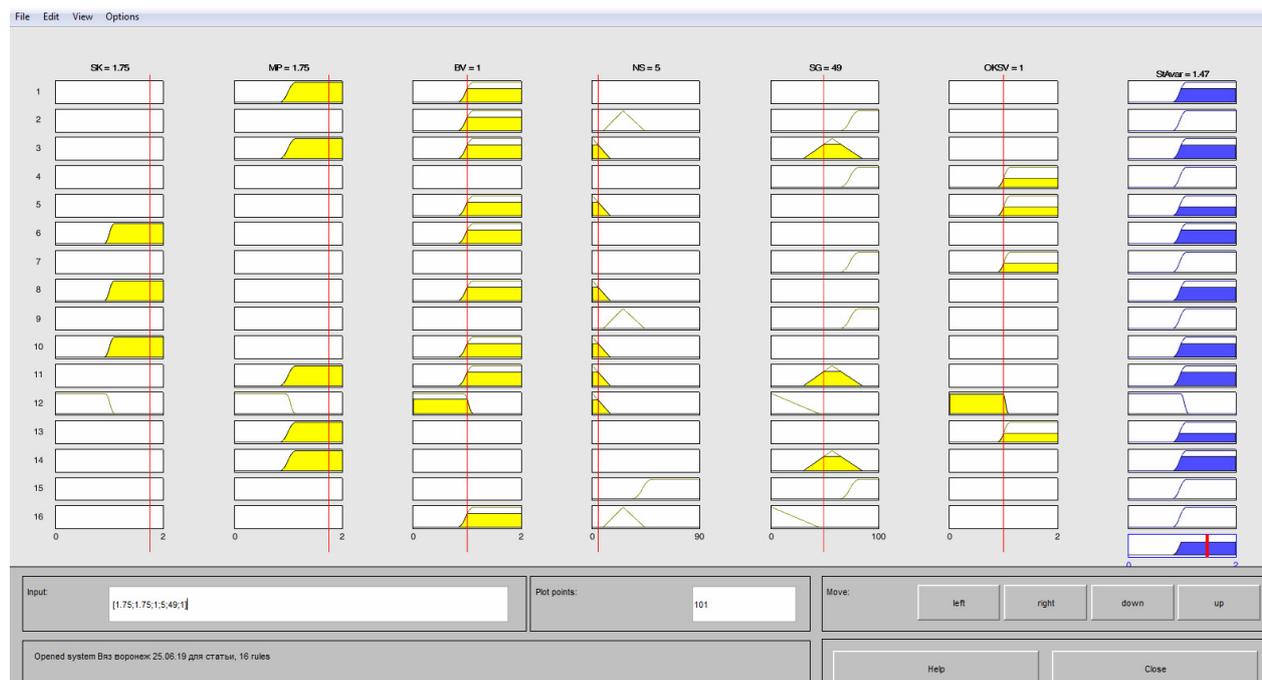


Рис. – Нечёткий вывод в среде FIS editor приложения MatLabFuzzyLogicToolbox

ванными не на традиционных оценках взаимосвязи, такие как коэффициент корреляции, а на вероятностях наступления сочетаний событий.

2. Определение полезных ассоциативных правил – трудоёмкий процесс, который полностью может быть выполнен только экспертом в этой области. Частично, с определённой степенью уверенности, это можно сделать с помощью некоторых характеристик правил: поддержки, достоверности и лифта (улучшения).

3. Использование для оценки степени аварийности деревьев методов, основанных на теории нечётких множеств, является перспективным.

4. Предлагаемая функция аварийности деревьев, построенная на основе нечёткого вывода, учитывает совместное проявление на дереве нескольких дефектов с различной степенью их проявления.

5. Разработанная функция степени аварийности деревьев вяза позволяет по введённым значениям входных показателей получать оценку степени аварийности деревьев. Это даёт экспертам возможность снимать неопределённость принимаемых решений при обследовании зелёных насаждений и принимать обоснованные решения относительно рекомендуемых мероприятий.

Литература

1. Мозолевская Е.Г. Мониторинг состояния зелёных насаждений и городских лесов Москвы. Методы оценки состояния деревьев и насаждений // Экология большого города. М.: Прима-пресс, 1997. Вып. 2. С. 16–59.
2. Паклин Н.Б., Орешков В.И. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям: учеб. пособие. СПб.: Питер, 2013. 704 с.
3. Побединский В.В., Герц Э.Ф., Рябкова Н.В. Нечёткий вывод возможных повреждений деревьев при повале // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=8932> (дата обраш. 26.06.2019).
4. Фурев А.Н., Тамбовский А.Н. Анализ сочетаний ошибок в технике спортивных упражнений с помощью ассоциативных правил технологии Data Mining // Учёные записки университета Лесгафта. 2015. № 5 (123). [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/naliz-sochetaniy-oshibok-v-tehnike-sportivnyh-uprazhneniy-s-pomoschyu-assotsiativnyh-pravil-tehnologii-data-mining> (дата обраш.: 26.06.2019).
5. Лесопатологическая экспертиза насаждений Кольцовского бульвара в г. Воронеже с применением инструментальных методов анализа. [Электронный ресурс]. URL: http://eco.voronezh-city.ru/images/eco/files_to_load/2016/1_p_ekspertiza_kol_covskogo_bul_vaga.pdf (дата обраш. 26.06.2019).
6. Ермохин М.В. Методика определения аварийной опасности деревьев в составе зелёных насаждений на землях населённых пунктов / М.В. Ермохин, А.В. Судник, А.П. Яковлев [и др.] // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов: матер. III Междунар. науч.-практич. конф., посвящ. 110-летию со дня рождения академика Н.В. Смольского. (7–9 октября 2015, Минск, Беларусь). В 2 ч. Ч. 1. Минск: Конфило, 2015. С. 68–72.
7. Румянцев Д.Е. Выявление аварийных деревьев в урбанизированной среде: проблемы и перспективы // Дендрология и уход за деревьями в урбанизированной среде. [Электронный ресурс]. URL: <http://econf.rae.ru/article/9122> (дата обраш. 26.06.2019).
8. Полещук В.А., Фролова В.А. Рейтинговые оценки состояния городских насаждений на основе методов теории нечетких множеств // Известия вузов. Лесной журнал. 2003. № 2–3. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rejtingovye-otsenki-sostoyaniya-gorodskih-nasazhdeniy-na-osnove-metodov-teorii-nechetkih-mnozhestv> (дата обраш. 26.06.2019).
9. Леоненков А.В. Нечёткое моделирование в среде MatLab и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.
10. Пегат А. Нечёткое моделирование и управление. М.: БИ-НОМ, 2009. 798 с.