

АНОТАЦІЯ

Топтун А.В. Інформаційно-вимірювальна система моніторингу санітарного стану деревних насаджень – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка – Черкаський державний технологічний університет Міністерства освіти та науки України, Черкаси, 2020.

Зміна клімату сьогодні є одною з найважливіших проблем в усьому світі і в Україні зокрема. Так, в грудні 2019 року на Всесвітній кліматичній конференції ООН КС25 в Чилі, обговорювалася необхідність скорочення викидів парникових газів, які призводять до ураганів, посухи та пожеж в різних країнах світу.

Зміна клімату в Україні, зокрема, спричиняє підвищення середньорічної температури, що, в свою чергу, призводить до буревіїв, шквальних вітрів та аномальної спеки влітку на території всієї країни. Наслідком цього є прискорене збільшення площ усихання та пошкодження шкідниками лісових, садово-паркових та муніципальних насаджень. В результаті чого спостерігається погіршення санітарного стану деревних насаджень, котре, в свою чергу, призводить до обвалу дерев, що останнім часом все частіше супроводжується руйнуванням громадських та житлових будівель, ліній електропередачі, транспорту, а також травмуванням та, навіть, загибеллю людей.

При цьому й досі одним з найпоширеніших методів визначення аварійного санітарного стану дерев є візуальний (державний нагляд). Такий метод дозволяє надавати висновок лише за зовнішніми ознаками та не передбачає виявлення внутрішніх пошкоджень.

В дисертаційному дослідженні вирішується важлива науково-практична задача підвищення точності та надійності визначення санітарного стану масивів деревних насаджень шляхом упровадження методичного, математичного, метрологічно-інструментального та апаратно-програмного забезпечення, що в

цілому представляє собою інформаційно-вимірювальну систему дистанційного моніторингу.

У *вступі* наведено загальну характеристику дисертаційних досліджень, їх актуальність, відповідність науковим темам; визначено наукову новизну та практичне значення результатів дисертації, а також предмет та об'єкт дослідження, сформульовано мету та задачі наукового дослідження.

Перший розділ роботи присвячений визначенню та аналізу факторів, що мають значущий вплив на санітарний стан деревних насаджень та усунення яких на сьогоднішній день не представляється можливим, а саме: кліматичних, біотичних та екологічних факторів. Визначено залежності впливу середньої температури за критичний період на динаміку всихання дерев, спалахи масового розмноження шкідливих комах, а також на площі лісових пожеж. Проаналізовано основні методи визначення санітарного стану деревних насаджень. Встановлено, що застосування іонометричного методу, як найперспективнішого в науковому дослідженні при контролі санітарного стану масивів деревних насаджень, обмежене відсутністю засобів автоматизації та інформатизації цього методу. Встановлені основні умови, яким мають відповідати інформаційно-вимірювальні системи моніторингу санітарного стану деревних насаджень. Проаналізовано найбільш використовувані методи та програмно-апаратні засоби математичного моделювання поведінки і динаміки розвитку рослинних екосистем, визначені їх переваги та недоліки. Встановлено перспективу використання цих моделей для моніторингу санітарного стану деревних насаджень.

Також в даному розділі окреслено обраний напрямок для дисертаційного дослідження та сформульовані основні задачі наукової роботи.

Другий розділ присвячений удосконаленню існуючого та розробленню нового експериментально-методичного та математичного забезпечення для проведення дистанційного моніторингу санітарного стану деревних насаджень. Для цього, були уточнені та вдосконалені методики визначення показників pH та солоності ґрунту та вперше застосовані з метою визначення цих показників в

зоні кореневого живлення дерева; уточнені та вдосконалені експрес-методи визначення цукру та pH та вперше застосовані для експрес-визначення якісних показників деревного соку (сахаристості, водневого показника pH та в'язкості). Методом багатофакторного планування експерименту побудовані математичні регресійні моделі, які описують залежності якісних показників деревного соку від зовнішніх кліматичних факторів та розраховано статистичні характеристики цих моделей. Складено динамічну модель, яка дозволяє високоточно (відносна похибка не перевищила 4%) визначати санітарний стан деревних насаджень і алгоритм якої (моделі) пропонується покласти в основу системи підтримки прийняття рішень інформаційно-вимірювальної системи дистанційного моніторингу санітарного стану деревних насаджень. Вперше запропоновано математичну модель, на основі якої складено алгоритм зонування деревних насаджень за категоріями їх санітарного стану, що дозволяє проведення більш точного та інформативного моніторингу стану насаджень. В результаті розробленого експериментально-методичного та математичного забезпечення складено загальний алгоритм проведення моніторингу санітарного стану деревних насаджень, що дозволяє проводити довгострокове прогнозування зміни санітарного стану цих насаджень і може служити основою для високоточної та ефективної інформаційно-вимірювальної системи моніторингу.

Третій розділ присвячений розробці метрологічно-інструментального та програмно-апаратного забезпечення, що лягло в основу створення інформаційно-вимірювальної системи моніторингу санітарного стану деревних насаджень. Вперше запропоновано конструкцію та технологічну послідовність виготовлення мікросенсору для визначення якісних показників деревного соку (кислотність, сахаристість та в'язкість), яка відповідає основним вимогам надійності, дешевизни, простоти та не веде до фізичного пошкодження дерев. Також визначено вимоги до конструкції інформаційно-вимірювальної системи моніторингу санітарного стану деревних насаджень; складено структурну та функціональну схеми, на основі яких створено модельний зразок такої інформаційно-вимірювальної системи, а також розроблено програмне

забезпечення для автоматизації процесу моніторингу, що дозволило зменшити вплив оператора на процес моніторингу та реалізувати віддалений моніторинг та прогнозування санітарного стану деревних насаджень. Доведено, що розроблені в розділі метрологічно-інструментальна та програмно-апаратна бази сприяють покращенню ефективності (підвищення точності та надійності) процесу моніторингу санітарного стану деревних насаджень.

В четвертому розділі наводяться результати експериментального випробовування розробленої інформаційно-вимірювальної системи моніторингу та здійснюється порівняння цих результатів з даними математичного моделювання та результатами, отриманими альтернативними методами дослідження (наприклад, методом візуального спостереження). Представлені наочні результати моніторингу досліджуваної ділянки (на прикладі парку «Спортивний», м. Черкаси) та наведено результати зонування дерев за категоріями санітарного стану, здійснені на основі отриманих результатів моніторингу.

Приведено результати розрахунку точності, надійності (вірогідності отримання коректних даних приладом управління) та швидкодії передачі/прийому інформації з вимірювальних датчиків приладом управління для різних досліджуваних ділянок. Отримані графіки залежності цих параметрів від зміни положення оператора з пристроєм управління відносно датчиків, а також від терміну експлуатації вимірювальних датчиків та щільності деревних насаджень.

Також у розділі наводяться результати впровадження досліджень та розробленої інформаційно-вимірювальної системи моніторингу санітарного стану деревних насаджень у навчальний процес та їх застосування в лісовому господарстві.

Одержані результати моніторингу використані для дистанційного превентивного визначення санітарного стану деревних насаджень лісових та садово-паркових зон, а також дозволяють спрогнозувати отруєння та зараження

таких насаджень для своєчасного проведення санітарних та профілактичних заходів.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень, нейромережева модель інформаційно-вимірювальної системи моніторингу, а також розроблене методичне, математичне, метрологічно-інструментальне та апаратно-програмне забезпечення знайшли практичну апробацію у лісових господарствах Черкаської області.

Основні положення дисертації впроваджено у навчальний процес кафедри приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій Черкаського державного технологічного університету з дисциплін «Методи підвищення метрологічних характеристик приладів контролю та визначення складу речовин», «Технічні засоби для дослідження впливу кліматичних факторів», «Інтелектуальні технології вимірювання», «Автоматизовані інформаційно-вимірювальні системи».

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система, нейромережева модель, регресійна модель, моніторинг, санітарний стан, деревні насадження, кліматичні фактори, ефективність.

SUMMARY

***Toptun A.V.* – Information and measuring system for monitoring the sanitary condition of trees plants – Manuscript.**

The thesis is submitted to obtain a scientific degree of Doctor of Philosophy, specialty 152 – Metrology and information-measuring technique – Cherkasy State Technological University, Cherkasy, 2020.

Climate change is one of the most important issues in the world and in Ukraine today. In December 2019 the World Climate Conference of the United Nations in Chile KC25 discussed the need to reduce greenhouse gas emissions, which lead to hurricanes, droughts and fires in different countries.

Climate change in Ukraine, contributes to an increase in the average annual temperature, which leads to storms, gusts of wind and abnormal summer heat throughout the country. The consequence of this is an accelerated increase in the area of drying and pest damage of forest, garden and municipal plants. Deterioration of the sanitary condition of tree plants leads not only to tree collapse and protection. The collapse can lead to the destruction of public and residential buildings, power lines, transport, as well as injuries and even deaths.

However, the most common method of determining the emergency sanitary condition of trees is visual (state supervision). This method gives an opinion only on external signs, which do not include the presence of internal damage.

The dissertation research solves an important scientific and practical problem of increasing the efficiency of determining the sanitary condition of arrays of trees by introducing methodological, mathematical, metrological-instrumental and hardware-software, which in general is an information-measuring system of remote monitoring.

The introduction provides a general description of dissertation research, their relevance, relevance to scientific topics; the scientific novelty and practical significance of the dissertation results are determined, as well as the subject and object of the research, the purpose and tasks of the scientific research are formulated.

The first section of the work is devoted to the identification and analysis of factors that have a significant impact on the sanitary condition of tree plantations and the elimination of which is currently not possible, namely: climatic, biotic and environmental factors. The dependences of the influence of the average temperature for the critical period on the dynamics of tree drying, outbreaks of mass reproduction of harmful insects, as well as on the area of forest fires are determined. The main methods of determining the sanitary condition of tree plants are analyzed. It is established that the application of the ionometric method, as the most promising in scientific research in the control of the sanitary condition of arrays of tree plantations, is limited by the lack of means of automation and informatization of this method. The main conditions to be met by the information and measurement systems for monitoring the sanitary condition of tree plants have been established. The most used methods and software and hardware of mathematical modeling of behavior and dynamics of development of plant ecosystems are analyzed, their advantages and disadvantages are defined. The prospect of using these models to monitor the sanitary condition of tree plants is established.

Also in this section the chosen direction for dissertation research is outlined and the main tasks of scientific work are formulated

The second section is devoted to the improvement of the existing and development of new experimental-methodical and mathematical support for remote monitoring of the sanitary condition of tree plants. To this end, the methods for determining the pH and salinity of the soil were refined and improved and used for the first time to determine these indicators in the area of root nutrition of the tree; refined and improved rapid methods for determining sugar and pH and first used for rapid determination of quality indicators of wood sap (sugar content, hydrogen pH and viscosity). Mathematical regression models are constructed by the method of multifactor planning of the experiment, which describe the dependences of quality indicators of wood sap on external climatic factors and the statistical characteristics of these models are calculated. A dynamic model has been developed that allows to accurately (relative error did not exceed 4%) determine the sanitary condition of tree

plants and the algorithm of which (model) is proposed to form the basis of decision support information and measurement system for remote monitoring of sanitary condition of tree plants. For the first time, a mathematical model was proposed, on the basis of which an algorithm for zoning tree plants by categories of their sanitary condition was developed, which allows for more accurate and informative monitoring of tree plants condition. As a result of the developed experimental-methodical and mathematical support the general algorithm of monitoring of a sanitary condition of tree plants is made that allows to carry out long-term forecasting of change of a sanitary condition of these plantations and can serve as a basis for highly exact and effective information and measuring monitoring system.

The third section is devoted to the development of metrological-instrumental and software-hardware, which formed the basis for the creation of information and measurement system for monitoring the sanitary condition of tree plants. For the first time, the design and technological sequence of manufacturing a microsensor for determining the quality of tree's sap (acidity, sugar content and viscosity), which meets the basic requirements of reliability, cheapness, simplicity and does not lead to physical damage to trees. Also the requirements to the design of the information-measuring system of monitoring the sanitary condition of tree plantations are determined; structural and functional schemes were compiled, on the basis of which a model of such information-measuring system was created, and software for automation of the monitoring process was developed, which allowed to reduce the operator's influence on the monitoring process and implement remote monitoring and forecasting of sanitary condition of tree plants. It is proved that the metrological-instrumental and software-hardware base developed in the section leads to the improvement of efficiency (increase of accuracy and reliability) of the process of monitoring the sanitary condition of tree plants.

The fourth section presents the results of experimental testing of the developed information and measurement monitoring system and compares these results with mathematical modeling data and the results obtained by alternative research methods (for example, the method of visual observation). Visual results of

monitoring of the studied area are presented (on the example of Sportivny Park, Cherkasy) and the results of tree zoning by categories of sanitary condition, carried out on the basis of the obtained monitoring results, are given.

The results of calculation of accuracy, reliability (probability of receiving correct data by the control device) and speed of transmission / reception of information from measuring sensors by the control device for various investigated sites are given. Graphs of dependence of these parameters on change of position of the operator with the control device concerning sensors, and also on service life of measuring sensors and density of tree plants are received.

The section also presents the results of the implementation of research and the developed information and measurement system for monitoring the sanitary condition of tree plants in the educational process and their application in forestry.

The obtained monitoring results were used for remote preventive determination of the sanitary condition of tree plants of forestries and garden and park zones, and also allow to predict poisoning and contamination of such plantations for timely sanitary and preventive measures.

- The results of theoretical and experimental research, neural network models of information-measuring monitoring system, as well as the developed methodological, mathematical, metrological-instrumental and hardware-software have found practical testing in the forests of Cherkasy region.

- The main provisions of the dissertation are introduced into the educational process of the Department of Instrumentation, Mechatronics and Computerized Technologies of Cherkasy State Technological University in the disciplines "Methods of improving the metrological characteristics of control devices and determining the composition of substances", "Technical means for studying the influence of climatic factors", "Intelligent measurement technologies", "Automated information and measuring systems".

Key words: information-measuring system, neural network model, regression model, monitoring, sanitary condition, tree plants, climatic factors, efficiency.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України

1. А. Топтун, та Ю. Бондаренко, “Розробка комплексного методу визначення санітарного стану деревних насаджень”, *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Автоматизація і приладобудування*. №2, с.5-13.2020.

Здобувачем розроблено комплексний метод визначення санітарного стану деревних насаджень

2. А. Топтун, та Ю.Бондаренко, “Зонування деревних насаджень за показаннями датчиків для дистанційного вимірювання якісних характеристик ґрунту”, *Вісник Київського політехнічного інституту. Сер. Приладобудування*. – 2020. – Вип. 59 (1). – С. 57-62.

Здобувачем розроблено модель для проведення зонування досліджуваної ділянки за категоріями санітарного стану

Статті у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до Європейського Союзу

3. А. Топтун, and Yu.Bondarenko, “Negative factors affecting the sanitary status of tree plants and effective approaches to their research”, *Mechanization in agriculture & Conserving of the resources*. no 1. pp. 42-45, 2020.

Здобувачем проведено аналіз негативних факторів, які можуть впливати на санітарний стан деревних насаджень та здійснено порівняльний аналіз методів для визначення стану дерев

4. А. Топтун, and Yu. Bondarenko, “Information-measuring system for monitoring the sanitary condition of tree stands”, *International scientific journal "Industry 4.0"*. no 3. pp. 142-147, 2020.

Здобувачем розроблено інформаційно-вимірювальну систему моніторингу санітарного стану деревних насаджень

Матеріали й тези конференції

5. *А. Топтун, та Ю.Бондаренко, “Огляд методів пошуку дефектів в зелених насадженнях”, в I Всеукраїн. наук.-практ. конф. «Наука України – погляд молодих вчених крізь призму сучасності», Черкаси, 2017.*

Здобувачем проведено огляд методів для пошуку дефектів в зелених насадженнях