

УДК 537.868:612.014.42

## БЕЗПЕКА ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ БІОТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ

О. С. Полянський<sup>1</sup>, О. В. Дьяконов<sup>2</sup>, О. С. Скрипник<sup>3</sup>, В. І. Д'яконов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна.

<sup>2</sup>Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Україна.

<sup>3</sup>Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Україна.

Кореспонденція авторів: khadi.pas@gmail.com, elenases2015@gmail.com.

Історія статті: отримано – вересень 2018, акцептовано – листопад 2018.

Бібл. 17, рис. 2, табл. 1.

**Анотація.** Розглянуті проблеми нормування електромагнітних випромінювань. В даній статті розповідається про фізику впливу мікрохвильового випромінювання на різні матеріали і людини, про відмінність мікрохвильового і іонізуючого випромінювання, про захист від мікрохвильового випромінювання і про існуючі в світі стандарти при роботі з НВЧ. Описані сучасні підходи до встановлення гранично-допустимих рівнів ЕМВ та можливі зміни в організмі людини під впливом високочастотних випромінювань, наведено основні способи та засоби захисту від них. Охарактеризовано найбільш поширені джерела електромагнітного поля, під впливом якого знаходиться кожна людина. Обговорюються перспективи досліджень, спрямованих на уніфікацію та оптимізацію міжнародних та національних нормативів гранично допустимих рівнів впливу електромагнітних випромінювань на людину.

Виявлено що потужність випромінювання, що поглинається матеріалом (деревиною) регулювати неможливо, вона залежить від виду рослинних відходів, їх вологості і форми. Встановлено, що необхідно правильно вибирати потужність випромінювання, що поглинається захистом і потужність випромінювання НВЧ джерела з урахуванням, що для забезпечення фонові потужності, яка може впливати на людей.

Розглядається методика вибору захисту від впливу кількох джерел ЕМВ що в даний час є проблемою і вимагає виконання групи заходів, а процес їх реалізації є досить трудомістким і пов'язаний в деяких випадках зі значними матеріальними витратами. Вибір засобів захисту ускладнюється необхідністю одночасного обліку параметрів декількох складових ЕМП, електричних і магнітних властивостей матеріалів екрану, його конструкції, геометричних розмірів та ін.. Представлена математична модель обмеження потужності НВЧ установки для сушіння деревини, що враховує гранично-допустиме значення фонові енергії.

**Ключові слова:** нормування електромагнітних випромінювань, сушіння рослинних відходів, НВЧ установка

### Поставлення проблеми

У сучасному світі широко використовуються різні технічні пристрої, які пов'язані з витоком електромагнітної енергії, як у виробничих, так і побутових умовах. Така техніка підвищує продуктивність виробництва та зменшує виробничі витрати.

Агропромисловий комплекс (АПК) активно використовує хвилі НВЧ для сушіння рослинних відходів, які завжди є супутнім матеріалом при лісозаготівлі а також зборі зернових і технічних культур. При впливі мікрохвиль нагрів фізичних тіл, у переважній більшості випадків, відбувається шляхом передачі тепла зовні всередину за рахунок теплопровідності. На НВЧ при раціональному підборі частоти коливань і параметрів камер, де відбувається перетворення НВЧ енергії в теплоту, можна отримати відносно рівномірне виділення тепла за об'ємом тіла. Ефективність перетворення енергії електричного поля в тепло зростає прямо пропорційно частоті коливань і квадрату напруженості електричного поля. Однак зі збільшенням частоти електромагнітних коливань зменшується глибина проникнення останніх в оброблюваний матеріал. Важлива перевага НВЧ нагріву – теплова безінерційність, тобто можливість практично миттєво включати і виключати тепловий вплив на оброблюваний матеріал. Звідси висока точність регулювання процесу нагріву і його відтворюваність. Перевагою НВЧ нагріву є також принципово високий ККД перетворення НВЧ енергії в теплоту, що виділяється в обсязі тіла, значення цього ККД близько до 100%. Теплові втрати в підвідних трактах зазвичай невеликі, і стінки хвилеводів і робочих камер залишаються практично холодними, що створює комфортні умови для обслуговуючого персоналу. Важливою перевагою НВЧ нагріву є можливість здійснення і практичного застосування нових незвичайних видів нагріву, наприклад, виборчого, рівномірного, надчислого, саморегульованого.

В умовах забруднення навколишнього середовища електромагнітним випромінюванням розробка

заходів захисту людини з урахуванням, того що процеси пов'язані з використанням джерел електромагнітного випромінювання (ЕМВ), створюють електромагнітні поля (ЕМП) часто з істотним перевищенням гранично допустимих рівнів [6–9] є надзвичайно актуальним. При цьому небезпека електромагнітних випромінювань часто недооцінюється, а необхідний захист застосовується не у всіх випадках, не дивлячись на те, що відповідні технології звичай вимагають постійної присутності персоналу.

### Аналіз останніх досліджень

Одним з обов'язкових питань при розробці мікрохвильової техніки пов'язаний з визначенням витоків електромагнітної енергії. В даний час в світі існують два основні стандарти за рівнем безпеки мікрохвильового випромінювання. Один з них розроблений Американським національним інститутом стандартів (ANSI) і встановлює рівень безпечного випромінювання при щільності 10 мВт на квадратний сантиметр. Чинний в нашій країні стандарт в тисячу разів менше.

Це пояснюється умовами дефіциту досліджень в області нормування, прогнозування та захисту від ЕМВ. В даний час існують певні відмінності в стандартах безпеки (для деяких діапазонів в десятки і сотні разів), тому Всесвітня організація охорони здоров'я спрямовує діяльність різних міжнародних організацій по стандартизації електромагнітної безпеки (Європейський комітет з електротехнічного нормування CENELEC – Comité Européen de Normalisation Electrotechnique, Національний американський інститут стандартів ANSI – American National Standards Institute, Німецький інститут по нормуванню DIN – Deutsche Institut für Normung і ін.) на створення єдиних світових стандартів [6].

На даний момент причиною розбіжностей в нормативних документах різних країн є недостатня вивченість впливу електромагнітного поля (ЕМП) на людину і біоту, високі темпи впровадження нових видів джерел ЕМП і їх широкого поширення, збільшення різного роду ЕМП в місцях населення від негативного впливу ЕМВ в нашій країні запроваджено такі норми: ДСН № 239-96, ДСанПіН 3.3.6–096-2002, ДСанПіН 3.3.2.007-98, ГОСТ 12.1.002-84, ГОСТ 12.1.006-84 [1–5]. В існуючих умовах невизначеного шкідливого рівня впливу ЕМП для збереження здоров'я людської популяції розроблені також методи захисту, найбільш поширеними серед яких є [1]:

- захист часом (зниження до мінімуму часу контакту з джерелами ЕМВ);
- захист відстанню (зменшення інтенсивності випромінювання пропорційно квадрату відстані від джерела);
- інженерно-технічні заходи захисту (екранування ЕМП, зниження інтенсивності випромінювань, використання спеціального одягу і ін.).

### Мета досліджень

Проаналізувати нормативно-правові документи

спрямовані на дослідження в області нормування, прогнозування та захисту від ЕМВ, а також вплив на живі тканини організму людини як з точки зору фізики явища на молекулярному рівні так і на рівні функціонування органів людського тіла. Через аналіз провести і узагальнення робіт показати передумови для посилення вимог гранично-допустимих рівнів при роботі на НВО і розробити модель, що дозволяє забезпечити безпеку експлуатації НВО при роботі на НВЧ установках.

### Результати досліджень

Вирішення поставленої проблеми забезпечується використанням системного підходу та раціонального поєднання теоретичних і експериментальних досліджень, узагальнення та аналізу відомих наукових результатів. Під час дослідження процесу нагрівання брикетної маси з урахуванням взаємодії секцій НВЧ застосовано математичні методи розв'язання диференціальних рівнянь.

Сушіння рослинних відходів із застосування ЕМВ НВЧ діапазону має низку переваг перед іншими відомими методами [7], але при проектуванні установок для НВЧ сушіння необхідно враховувати вплив фонових випромінювань на обслуговуючий персонал і передбачати обмеження фонового випромінювання з урахуванням, як діючих норм, так і нових досліджень в області НВЧ випромінювань.

Говорячи про біологічну тканину, на яку впливають фонові електромагнітні випромінювання, слід згадати про молекулу води (рис. 1), так як людина на 70% складається з води. Молекула  $H_2O$  складається з двох позитивних зарядів у атомів водню і двох негативних зарядів на кисневому атомі. Молекула води має форму тетраедра (Таблиця 1). За рахунок такої форми, це дозволяє кожній молекулі утворювати в конденсованому стані до 4-х водневих зв'язків, у тому числі дві є дононими, дві акцепторними. Водневий зв'язок це перш за все зв'язок між позитивно зарядженим атомом водню однієї молекули і негативно зарядженим атомом іншої молекули, в даному випадку кисню. В результаті цього зв'язку і утворюється вода.

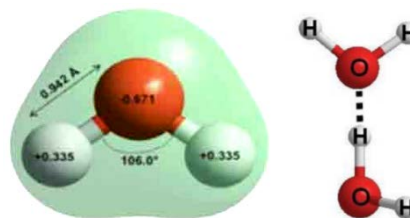


Рис. 1. Будова молекули і димера води.

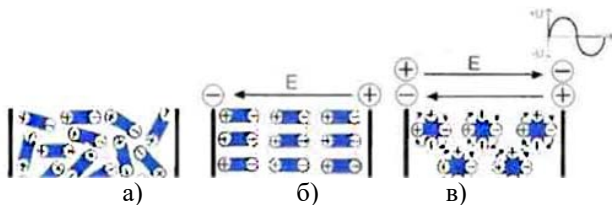
При впливі електромагнітних хвиль на молекулу води відбувається деформація водневих зв'язків: зміна довжини О-Н або кутів Н-О-Н. Руйнування зв'язків між молекулами відбувається при короткохвильових електромагнітних впливах (від ультрафіолетового випромінювання і менше). Енергія кванта випромінювання в діапазоні від 300 МГц - до 300 ГГц менше енергії теплового руху молекул, енергії електронних переходів, коливної енергії молекул і енергії водневих зв'язків

і може впливати на процеси тільки у вигляді керуючого впливу. А якщо таких квантів мільйон. У такому випадку вся енергія мільйона квантів йде на нагрів молекули, як і води так і живої клітини.

**Таблиця 1.** Характеристики молекули води.

Довжина валентного зв'язку ОН, нм	0.0942
Кут НОН, град.	106,0
Електричний дипольний момент, Д	1,85
Енергія дисоціації, eВ	4,8
Енергія іонізації, eВ	12.6
Енергія водневого зв'язку в димері (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub> , eВ	0,24

Мікрохвильовий нагрів відбувається на поверхні тіл, всередині них відбувається так зване внутрішнє тертя і втратами на провідність (Джоулеве тепло). Будь-який біологічний продукт складається з дипольних молекул. Це такі молекули, на одному кінці яких є позитивний електричний заряд, а на іншому - негативний. Вода також складається із дипольних молекул. Один герц - це одне коливання в секунду, а так як сигнал має форму синуса, то герц - це один період синуса. Мегагерц - один мільйон коливань в секунду. За один період поля поляризація двічі встановлюється і двічі зникає. Спочатку диполі розташовані хаотично, тобто в різних напрямках. При прикладенні електричного поля диполі шикуються відповідно +/- (рис. 2.).



**Рис. 2.** Зміна напрямку диполів при прикладенні електромагнітного поля. а) Електричного поля немає, диполі розміщені хаотично. б) Диполі вишикувалися вздовж прикладеного електричного поля. в) Обертання диполів у змінному електричному полі.

А так як електричне поле змінне, то в один напівперіод диполі повертаються в одну сторону, а в інший напівперіод повертаються в іншу сторону, при цьому поворот таких частинок вимагає певного часу зване часу релаксації. В результаті максимум поляризації не збігається в часі з максимумом напруженості поля, тобто є зрушення фаз між напруженістю поля і поляризацією. Таким чином є зрушення фаз між напруженістю поля  $\vec{E}$  і індукцією  $\vec{D}$  який обумовлює втрати енергії  $W$ , які переходять в тепло. У векторному поданні - вектор  $\vec{D}$  відстає від вектора  $\vec{E}$  на кут  $d$  - кут діелектричних втрат. Коли молекули або іони орієнтуються полем, вони відчують зіткнення з іншими частинками, при цьому розсіюється енергія. Для відчутних значень діелектричних втрат час релаксації має бути порядку

періоду поля. Для води і спирту втрати проявляються в сантиметровому діапазоні довжин хвиль.

Енергія діелектричних втрат визначається як:

$$W_e = E^2 2\pi f e' \operatorname{tg}d \quad (1)$$

де  $E$  – напруженість електричного поля,  
 $f$  – частота поля,  
 $e'$  – діелектрична проникність матеріалу,  
 $\operatorname{tg}d$  – тангенс кута діелектричних втрат.

Дана енергія перетворюється в теплову, викликаючи нагрівання діелектрика. Теоретично зміна температури на один кілограм речовини визначається наступним рівнянням:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{ke'' f E^2}{\rho C} \quad (2)$$

де  $k$  – константа,  
 $e''$  – фактор діелектричних втрат,  
 $f$  – частота поля,  
 $E$  – напруженість електричного поля,  
 $\rho$  та  $C$  – щільність і теплоємність речовини відповідно.

Так як зміна поля відбувається швидко, то і молекули обертаються з великою швидкістю, між молекулами відбувається тертя, втрати енергії при обертанні, і вони утворюють тепло. Таким чином, при впливі мільйонів квантів мікрохвильового випромінювання на їжу, відбувається її нагрів за рахунок цих трьох процесів.

Майже неможливо заздалегідь розрахувати кількість променевої енергії, поглиненої тілом людини в конкретній ділянці електромагнітного поля і перетвореної в теплоту. Величина цієї енергії сильно залежить від основних електричних характеристик, положення, розмірів і структури м'язової і жирової тканин і напрямку падіння хвилі, тобто. Іншими словами, ця величина залежить від вхідного опору даної складної структури.

Напрямок поляризації падаючої хвилі щодо осі тіла також відіграє істотну роль. В кожному окремому випадку для встановлення симптомів потрібне точне дослідження існуючих умов. Дійсне підвищення температури тіла залежить від таких параметрів навколишнього середовища, як температура і вологість, і від механізму охолодження тіла.

Опромінення в надвисокочастотному інтенсивному полі живих тканин призводить до зміни їх властивостей, які пов'язані з тепловими наслідками поглинання випромінювання. Для вивчення цих змін живі тканини можна розділити на два класи:

- а) тканини, що містять кровоносні судини;
- б) тканини, що не містять кровоносних судин.

При відповідному регулюванні вихідної потужності генератора надвисоких частот і тривалості опромінення різні тканини, що містять кровоносні судини, можуть бути нагріті практично до будь-якої температури. Температура тканин, починає підвищуватися відразу ж після підведення до неї НВЧ-енергії. Це зростання температури триває протягом 15–20 хв і може на 1–2 °С підвищити температуру тканини в порівнянні з середньою температурою тіла, після чого температура починає падати. Падіння температури в облучаємом ділянці відбувається в резуль-

таті різкого збільшення в ньому потоку крові, що призводить до відповідного відведення теплоти.

Відсутність кровоносних судин в деяких частинах тіла робить їх особливо вразливими до опромінення надвисокими частотами. В цьому випадку теплота може поглинатися тільки оточуючими судинними тканинами, до яких вона може надходити тільки шляхом теплопровідності. Це зокрема справедливо для тканин ока і таких внутрішніх органів, як жовчний міхур, сечовий міхур і шлунково-кишковий тракт. Мала кількість кровоносних судин в цих тканинах ускладнює процес авторегулювання температури поверхні тіла. Крім того при певних умовах, відбиття від крайових поверхонь порожнин тіла і областей розташування кісткового мозку призводить до утворення стоячих хвиль.

Надмірне зростання температури в окремих ділянках дії стоячих хвиль може викликати пошкодження тканини. Відображення такого роду викликаються також металевими предметами, розташованими всередині або на поверхні тіла.

При інтенсивному опроміненні цих тканин НВЧ-полем спостерігається їх перегрів, призводить до незворотних змін. У той же час НВЧ-поля малої потужності благотворно впливають на організм людини, що використовується в медичній практиці.

Головний і спинний мозок чутливі до змін тиску, і тому підвищення температури в результаті опромінення голови може мати серйозні наслідки. Кістки черепної коробки викликають сильні відбиття, через що оцінити поглинену енергію дуже важко. Підвищення температури мозку відбувається найшвидше, коли голова опромінюється зверху або коли опромінюється грудна клітка, так як нагріта кров з грудної клітини безпосередньо прямує до мозку. Опромінення голови викликає стан сонливості з подальшим переходом до несвідомого стану. При тривалому опроміненні з'являються судоми, що переходять потім в параліч. При опроміненні голови неминуче настає смерть, якщо температура мозку підвищується на  $6^{\circ}\text{C}$ .

Око - це один з найбільш чутливих до опромінення енергією НВЧ органів, тому що він має слабку терморегуляційну систему і теплота, що виділяється не може відводитися досить швидко. Після 10 хв опромінення потужністю 100 Вт на частоті 2450 МГц можливий розвиток катаракти (помутніння кришталика ока), в результаті чого білок кришталика коагулює і утворює видимі білі вкраплення. На цій частоті найбільша температура виникає біля задньої поверхні кришталика, який складається з протеїну, легко пошкоджується при нагріванні.

Чоловічі статеві органи надзвичайно чутливі до теплового впливу і, отже, особливо уразливі при опроміненні. Безпечна щільність випромінювання у вигляді максимального рівня  $5\text{ мВт/см}^2$  значно нижче, ніж для інших чутливих до опромінення органів. В результаті опромінення сім'яників може наступити тимчасове або постійне безпліддя. Пошкодження статевих тканин розглядають особливо, так як деякі генетики вважають, що невеликі дози опромінення не призводять до яких-небудь фізіологічних порушень, в той

же час можуть викликати мутації генів, які залишаються прихованими протягом декількох поколінь.

В результаті сильного опромінення енергією НВЧ може статися задуха. Постраждалим необхідно зробити штучне дихання, забезпечити швидке охолодження тіла і кисневе харчування. Слід підкреслити, що у людини немає органу чуття, який своєчасно попереджав би про небезпеку випромінювання. Через великий глибини проникнення електромагнітного випромінювання ніхто не повинен покладатися на дуже оманливі теплові відчуття шкіри.

Відомо, що потужність випромінювання магнетрона в установці для сушіння розподіляється наступним чином:

$$P_{\text{випр}} = P_{\text{погл}} + P_z + P_{\phi} \quad (3)$$

де  $P_{\text{випр}}$  – потужність випромінювання НВЧ джерела;

$P_{\text{погл}}$  – потужність випромінювання, що поглинається матеріалом (деревиною);

$P_z$  – потужність випромінювання, що поглинається захистом;

$P_{\phi}$  – фонові потужність (яка може впливати на людей).

Необхідно, щоб  $P_{\phi}$  не перевищувала значення  $10\text{ мкВт/см}^2$ .

Потужність випромінювання, що поглинається матеріалом (деревиною) регулювати неможливо, вона залежить від виду рослинних відходів, їх вологості і форми. Таким чином, для забезпечення фонові потужності, яка може впливати на людей, необхідно правильно вибирати потужність випромінювання, що поглинається захистом і потужність випромінювання НВЧ джерела.

При створенні системи автоматичного управління (САУ) безпечною експлуатацією установки для сушіння деревини була створена модель [5], що обмежує потужність випромінювання  $P_{\text{изл}}$  до значення при якому допустима фонові енергія  $W_q$  не буде перевищена. У моделі враховані радіус установки, потужність випромінювання, що поглинається захистом, відстань від установки до оператора, і час сушіння.

$$[W_q] \geq P_{\text{випр}} \left( 1 - \frac{nF_i \sqrt{\mu \epsilon} f}{(R_0 + z)l} Nab \epsilon_g \text{tg} \vartheta_g - \frac{nF_i \sqrt{\mu \epsilon} f}{2(R_0 + z)l} V_3 \epsilon_3 \text{tg} \vartheta_3 \right) \times \left( 1 + \frac{x}{R} \right) \tau_c \quad (4)$$

де  $[W_q]$  – допустима фонові енергія НВЧ;

$x$  – відстань від установки до оператора;

$R$  – радіус установки;

$\tau_c$  – час сушки.

Методика вибору захисту в умовах впливу кількох джерел ЕМВ в даний час є проблемою і вимагає виконання групи заходів [5], а процес їх реалізації є досить трудомістким і пов'язаний в деяких випадках зі значними матеріальними витратами. Вибір засобів захисту ускладнюється необхідністю одночасного обліку параметрів декількох складових ЕМП, електричних і магнітних властивостей матеріалів екрану, його конструкції,

геометричних розмірів та ін. [7, 8].

### Висновки

1. З проведеного аналізу і узагальнення робіт [6–17] видно, що чинні нормативи не відповідають безпечному проведенню робіт з технологічному обладнанні з використанням НВЧ на небезпечних виробничих об'єктах (НВО).

2. В результаті досліджень в роботі показані передумови для посилення вимог ГДР при роботі на НВО і розроблена модель, що дозволяє забезпечити безпеку експлуатації НВО при роботі на НВЧ установках.

### Список літератури

1. ДСН 239-96. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань. Київ. 1996. 28 с.

2. ГОСТ 12.1.002-84. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах.

3. ГОСТ 12.1.006-84. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

4. ДСанПіН 3.3.2.007–98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин.

5. ДСанПіН 3.3.6–096–2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів

6. Селиванов С. Е., Филенко В. В., Бажинов А. В., Будянская Э. Н. Электромагнитные загрязнения биосферы автотранспортом (автомобили, электромобили, гибридные автомобили) Автомобильный транспорт. 2009. № 25. С. 24–32.

7. Савицкая Я. А., Паслен В. В. Влияние высокочастотных электромагнитных полей на организм человека. Экология та ноосферология. 2009. № 1, 2. Т. 20. С. 38–43.

8. Олешко Т. І. Системний підхід до впливу компонентів стільникового зв'язку на стан навколишнього середовища. Режим доступа: [http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/mtit/2012\\_66/m66\\_st07.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/mtit/2012_66/m66_st07.pdf).

9. High-frequency electric current for drying of wood – historical perspectives. Режим доступа: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/maderas/v8n2/art01.pdf>.

10. Titov E., Migalyov I. The technology of electromagnetic radiation danger estimation using the hardware-software module. MATEC. Web Conf. 2017. Vol. 102. P. 01035. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710201035>.

11. Грачев, Н. Н., Мырова Л. О. Защита человека от опасных излучений. Москва. БИНОМ. Лаб. знаний, 2005. 317 с.

12. Яковлев В. Н. Электромагнитная совместимость электрооборудования электроэнергетики и транспорта. Москва. МЭИ. 2010. 588 с.

13. Antti L. Microwave drying of hardwood: simultaneous measurements of pressure, temperature, and weight reduction. Forest Prod. 1992. J. 42(6). P. 49–54.

14. Antti L. Heating and drying wood using microwave power. PhD-Thesis, 1999. Skelleftea.

15. Abramenko S. N. The drying of wood by electric currents of high frequency. Woodworking, 1934. USSR 10. P. 65–68.

16. Hansson L., Antti L. Design and performance of an industrial microwave drier for on-line drying of wood components. 8th IUFRO Wood Drying Conf., 2003. Brasov, Romania. P. 156–158.

17. Leiker M., Aurich K. Sorption behaviour of microwave dried wood. Proceedings 8th IUFRO Wood Drying Conference. 2003. Brasov, Romania. P. 237–240.

### References

1. State sanitary norms 239-96. (1996). State sanitary norms and rules of protection of the population from the influence of electromagnetic radiation. K., 28

2. State standard 12.1.002-84. (1984). Electric fields of industrial frequency. Permissible levels of tension and requirements for monitoring at workplaces.

3. State standard 12.1.006-84. (1984). Electromagnetic fields of radio frequencies. Permissible levels in the workplace and requirements for monitoring.

4. State sanitary norms and rules 3.3.2.007-98. (1998). State sanitary rules and norms of work with visual display terminals of electronic computers.

5. State sanitary norms and rules 3.3.6-096-2002. (2002). State sanitary norms and rules when working with sources of electromagnetic fields.

6. Selivanov, S. E., Filenko, V. V., Bazhinov, A. V., Budyanskaya, E. N. (2009) Electromagnetic pollution of the biosphere by motor transport (cars, electric cars, hybrid cars) Road transport: coll. sci. works. № 25. 24-32.

7. Savitskaya, Y. A., Paslen, V. V. (2009). The influence of high-frequency electromagnetic fields on the human body. Ecology and noosphereology. № 1, 2. Vol. 20. 38-43.

8. Oleshko, T. I. (2012). System approach to the influence of components of cellular communication on the state of the environment. Access mode: [http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/mtit/2012\\_66/m66\\_st07.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/mtit/2012_66/m66_st07.pdf).

9. High-frequency electric current for drying of wood – historical perspectives. (2018). Access mode: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/maderas/v8n2/art01.pdf>.

10. Titov, E., Migalyov, I. (2017). The technology of electromagnetic radiation danger estimation using the hardware-software module. MATEC. Web Conf. Vol. 102. 01035. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710201035>.

11. Grachev, N. N., Myrova, L. O. (2005). Protection of a person from dangerous radiation. Moscow: BINOM. Lab of knowledge. 317.

12. Yakovlev, V. N. (2010) Electromagnetic compatibility of electrical equipment of electric power industry and transport: studies. manual. Moscow: MEI. 588.

13. Antti, L. (1992). Microwave drying of hardwood: simultaneous measurements of pressure, temperature, and weight reduction. Forest Prod. J. 42(6). 49-54

14. *Antti, L.* (1999). Heating and drying wood using microwave power. PhD-Thesis, Skelleftea.

15. *Abramenko, S. N.* (1934). The drying of wood by electric currents of high frequency. Woodworking, USSR 10. 65-68.

16. *Hansson, L., Antti, L.* (2003). Design and performance of an industrial microwave drier for on-line drying of wood components. 8th IUFRO Wood Drying Conf., Brasov, Romania. 156-158.

17. *Leiker, M., Aurich, K.* (2003). Sorption behaviour of microwave dried wood. Proceedings 8th IUFRO Wood Drying Conference. Brasov, Romania. 237-240.

#### БЕЗОПАСНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ БИОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

*О. В. Полянський, О. В. Дьяконов, О. С. Скрипник, В. І. Дьяконов*

**Аннотация.** Рассмотрены проблемы нормирования электромагнитных излучений. В данной статье рассказывается о физике воздействия микроволнового излучения на различные материалы и человека, о различии микроволнового и ионизирующего излучения, о защите от микроволнового излучения и о существующих в мире стандартах при работе со сверхвысокими частотами. Описаны современные подходы к установлению предельно допустимых уровней ЭМИ и возможные изменения в организме человека под воздействием высокочастотных излучений, приведены основные способы и средства защиты от них. Охарактеризованы наиболее распространенные источники электромагнитного поля, под влиянием которого находится каждый человек. Обсуждаются перспективы исследований, направленных на унификацию и оптимизацию международных и национальных нормативов предельно допустимых уровней воздействия электромагнитных излучений на человека.

В ходе исследования выявлено что мощность излучения, поглощаемого материалом (деревом) регулировать невозможно, она зависит от вида растительных отходов, их влажности и формы. Установлено, что необходимо правильно выбирать мощность излучения, поглощаемого защитой и мощность излучения СВЧ источники с учетом, что для обеспечения фоновой мощности, которая может влиять на людей.

Рассматривается методика выбора защиты от воздействия нескольких источников ЭМИ, что в настоящее время является проблемой и требует выполнения группы мероприятий, а процесс их реализации является достаточно трудоемким и связан в некоторых случаях со значительными материальными затратами. Выбор средств защиты осложняется необходимостью одновременного учета параметров нескольких составляющих ЭМП, электрических и магнитных свойств материалов экрана, его конструкции, геометрических размеров и др.

Представлена математическая модель ограничения мощности СВЧ установки для сушки древесины, учитывающая предельно допустимое значение фоновой энергии.

**Ключевые слова:** нормирование электромагнитных излучений, сушки растительных отходов, СВЧ установка.

#### SAFETY OF USE OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF BIOTHERMAL TREATMENT OF VEGETABLE WASTES

*Polyansky O. V., Dyakonov O. V., Skrypnik A. S., Dyakonov V. I.*

**Abstract.** The problems of the valuation of electromagnetic radiation are considered. This article describes the physics of the effects of microwave radiation on various materials and humans, the difference between microwave and ionizing radiation, protection from microwave radiation and the standards existing in the world when working with ultrahigh frequencies. Modern approaches to the establishment of maximum permissible levels of electromagnetic radiation and possible changes in the human body under the influence of high-frequency radiation are described, the main methods and means of protection against them are given. Characterized the most common sources of the electromagnetic field, under the influence of which there is each person. The prospects of research aimed at the unification and optimization of international and national standards for maximum permissible levels of exposure to electromagnetic radiation on humans are discussed.

It was revealed that the radiation power absorbed by the material (tree) cannot be regulated it depends on the type of plant waste, its moisture content and form. It has been established that it is necessary to choose the radiation power absorbed by the protection and the radiation power of the microwave sources, taking into account that to provide background power that can affect people.

We consider the method of choosing protection from the effects of several sources of electromagnetic radiation, which is currently a problem and requires the implementation of a group of measures, and the process of their implementation is quite time-consuming and is associated in some cases with significant material costs. The choice of means of protection is complicated by the need to simultaneously take into account the parameters of several components of the EMF, the electrical and magnetic properties of the screen materials, its design, geometric dimensions, etc.

A mathematical model for limiting the power of a microwave installation for wood drying is presented, taking into account the maximum permissible value of the background energy.

**Key words:** normalization of electromagnetic radiation, drying of plant waste, microwave installation.