

**МЕТОД КОМП'ЮТЕРНОГО ОЦІНЮВАННЯ МІЦНОСТІ  
СТОМАТОЛОГІЧНОГО МАТЕРІАЛУ ЗА ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМ  
СИГНАЛОМ**

**В. В. Никитюк**, аспірант;

**Л. Є. Дедів**, канд. техн. наук, старший викладач;

**М. О. Хвостівський**, канд. техн. наук, доцент,

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,  
м. Тернопіль, Україна;

E-mail: Slavik\_89@ukr.net

Запропоновано новий метод комп'ютерного оцінювання міцності стоматологічного матеріалу, який ґрунтується на оцінюванні зміни інтенсивності відбитого від поверхні полімеризованого шару стоматологічного матеріалу ультрафіолетового випромінювання, яке використовується для процесу полімеризації.

**Ключові слова:** стоматологічний матеріал, полімеризація, фотоелектричний сигнал, ультрафіолетове світло, персональний комп'ютер.

**ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Значного поширення в сучасній стоматології знайшли композитні матеріали, які використовуються для усунення дефектів емалі зуба, полімеризація яких здійснюється під дією ультрафіолетового (УФ) випромінювання. Домінуючою експлуатаційною характеристикою цих матеріалів є міцність, оскільки саме від цього показника залежать експлуатаційна надійність та довговічність матеріалу.

Для визначення міцності композитних (стоматологічних) матеріалів використовують методи за ГОСТ Р51202-98, які передбачають визначення міцності шляхом згину, діаметрального розриву, визначення водопоглинання і водорозчинності, визначення робочого часу та часу затвердіння, визначення глибини затвердіння. Проте використання цих методів (рис. 1), як руйнівних призводить до руйнування структури композитних матеріалів, що не уможливорює подальше використання їх у стоматології.

**Методи оцінювання фізико-механічних властивостей  
стоматологічного матеріалу за ГОСТ Р 51202-98**

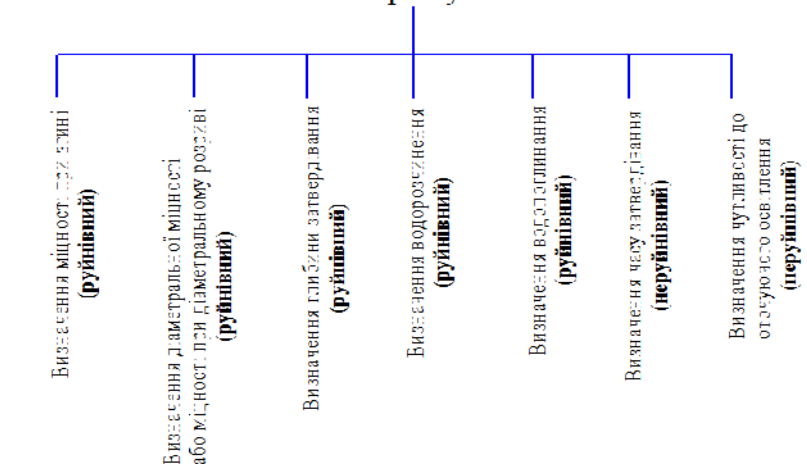


Рисунок 1 – Характеристика методів оцінювання фізико-механічних властивостей стоматологічного матеріалу

Тому актуальним науковим завданням є розроблення нового методу визначення міцності стоматологічного матеріалу за фотоелектричним сигналом із використання комп'ютерної техніки.

#### ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАВДАННЯ

Розглянуті відомі методи випробувань матеріалу на міцність є за своєю природою руйнівними (механічними). Застосовуються вони для контролю параметрів матеріалів, однак не придатні для оцінювання міцності матеріалу під час встановлення та полімеризації.

#### МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ СТОМАТОЛОГІЧНОГО МАТЕРІАЛУ ЗА ЗМІНОЮ ОПТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПІД ЧАС ЙОГО ПОЛІМЕРИЗАЦІЇ

Найбільшого поширення сьогодні набули матеріали типу 2 за ГОСТ Р 51202-98, полімеризація яких здійснюється під дією спеціального опромінення, в основному ультрафіолетового. Матеріал опромінюється джерелом УФ-світла, енергія якого поглинається матеріалом та використовується на його полімеризацію. При цьому інтенсивність відбитого світла збільшуватиметься в процесі полімеризації і буде максимальною після завершення цього процесу. Відповідно, для оцінювання процесу полімеризації можна використати сигнал у вигляді відбитого світла (фотоелектричний сигнал), інтенсивність якого буде тим більшою, чим краще полімеризувався матеріал. Оскільки міцність матеріалу, зокрема стоматологічного, корелює з часовими характеристиками процесу його полімеризації за однакових зовнішніх умов (температура, вологість, тиск, освітлення і т. д.), то зміна енергії відбитого фотоелектричного сигналу буде відповідати проходженню процесу полімеризації, а часові характеристики перебігу цього процесу визначатимуть кінцеву міцність матеріалу. Закон зміни інтенсивності відбитого випромінювання в процесі полімеризації стоматологічного матеріалу для трьох значень інтенсивності опромінювання зображено на рис. 2.

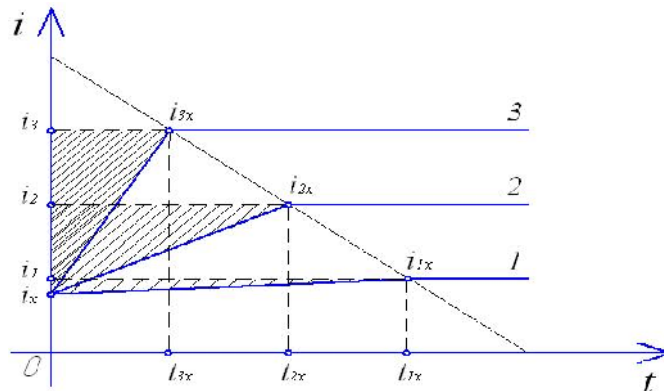


Рисунок 2 - Зміна інтенсивності падаючого та відбитого від стоматологічного матеріалу випромінювання в процесі його полімеризації

Криві 1, 2 та 3 відповідають трьом значенням інтенсивності опромінювання ( $i_1$ - $i_3$ ). Значення  $i_x$  відповідає мінімальній інтенсивності опромінювання стоматологічного матеріалу, при якій починається процес його полімеризації. Точки  $i_{1x}$ ,  $i_{2x}$ ,  $i_{3x}$  відображають завершення процесу полімеризації (інтенсивність відбитого випромінювання рівна інтенсивності падаючого опромінювання). Відрізки  $i_x$   $i_1$ ,  $i_x$   $i_2$ ,  $i_x$   $i_3$  відображають зміну інтенсивності відбитого випромінювання в процесі полімеризації стоматологічного матеріалу. Точки  $t_{1x}$ - $t_{3x}$  відображають час

завершення процесу полімеризації. Чим вища інтенсивність опромінення ( $i_1, i_2, i_3$ ), тим менший час полімеризації, однак, потужність, витрачена на процес полімеризації, буде однаковою (відповідно до рис. 2, площі трикутників іх  $i_1 i_{1x} = i_2 i_{2x} = i_3 i_{3x}$  є рівні).

Для оцінювання міцності стоматологічного матеріалу запропоновано використати закон Бугера-Ламберта-Бера [1, 2], за допомогою якого можна описати процес поширення ослабленого паралельного монохроматичного пучка світла із інтенсивністю  $I_0$  у поглинаючому середовищі товщиною  $l$ , (рис. 3).

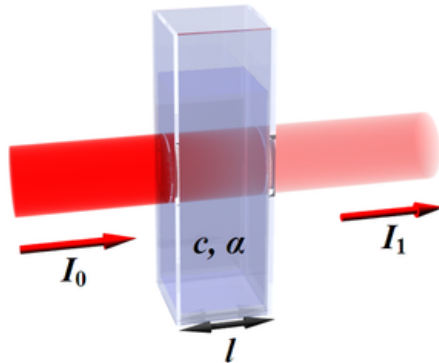


Рисунок 3 – Ілюстрація закону Бугера - Ламберта - Бера

Закон Бугера-Ламберта-Бера описується виразом

$$I(l) = I_0 e^{-k\lambda l}, \quad (1.1)$$

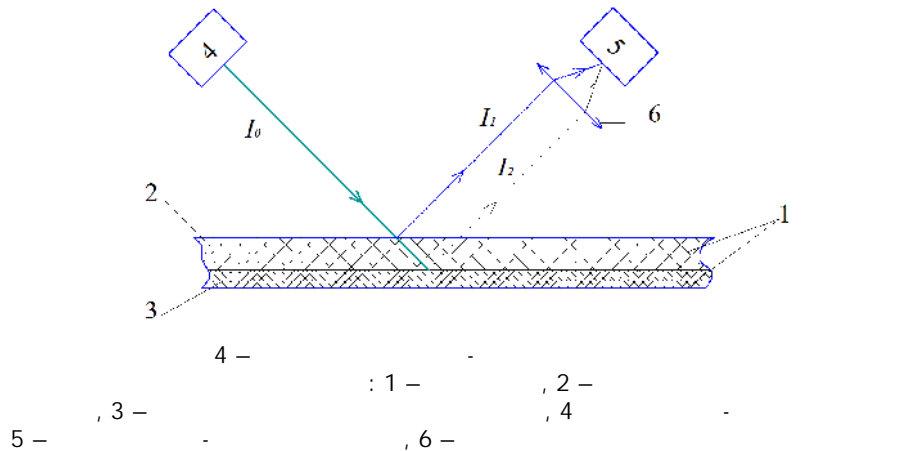
де  $I_0$  - інтенсивність вхідного пучка;

$l$  - товщина шару речовини, через яке проходить світло;

$k$  - коефіцієнт поглинання.

Показник поглинання характеризує властивості речовини і залежить від довжини хвилі та поглинання світла. Ця залежність називається спектром поглинання речовини [3, 4].

Ідею запропонованого методу проілюстровано на рис. 4.



Відповідно до рис. 4, УФ-промінь інтенсивності  $I_0$  від фотополімеризатора падає на поверхню стоматологічного матеріалу, енергія якого витрачається на процес його полімеризації. Частина падаючого УФ-світла відбивається від поверхні матеріалу (промінь з

інтенсивністю  $I_1$ ) друга частина відбивається від поверхні полімеризованого шару матеріалу (промінь з інтенсивністю  $I_2$ ).

Припущено, що інтенсивність променя, яка витрачається на полімеризацію,  $I_0$ , тоді зміну інтенсивності описано у вигляді виразу

$$I_0 = I_1 + I_2, \quad (1.2)$$

де  $I_0$  є відомою величиною, що визначається параметрами випромінювача фотополімеризатора;

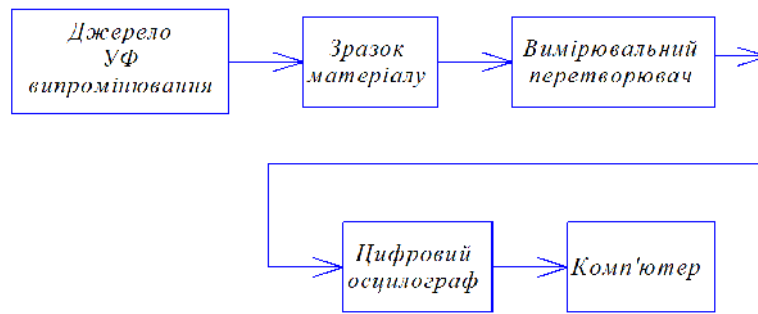
$I_1$  – інтенсивність відбитого від поверхні світла, є константою для кожного типу матеріалу;

$I_2$  та  $I_0$  є інформативними складовими прийнятого сигналу і обернено взаємно пропорційними.

Відповідно, за зміною цих величин можна оцінити ступінь полімеризації матеріалу а отже, в кінцевому випадку – і його міцність.

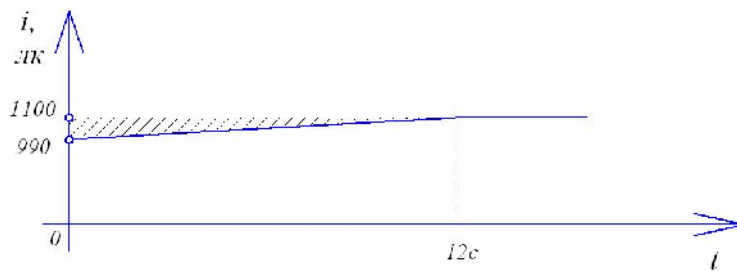
### ОЧІКУВАННІ РЕЗУЛЬТАТИ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ

Для реєстрації фотоелектричного сигналу полімеризації матеріалу розроблено структурну схему, що зображена на рис. 5.



5 –

Відповідно до рис. 5 зразок матеріалу опромінюється УФ-випромінюванням, відбите світло перетворюється вимірвальним перетворювачем в електричний сигнал, який реєструється та оцифровується цифровим осцилографом. Оцифрований сигнал подається на комп'ютер, де і відбувається його опрацювання. Приклад експериментально отриманого сигналу, відбитого випромінювання від стоматологічного матеріалу в процесі його полімеризації, відібраного за допомогою цифрового осцилографа наведено на рис. 6.



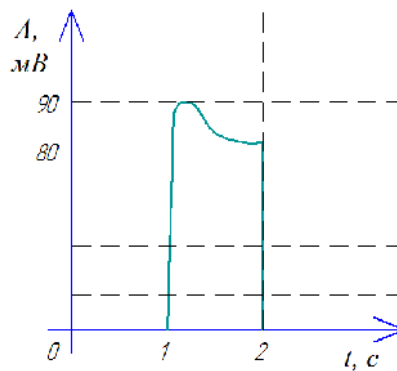
6 –

В роботі для опромінення використано Woodpeker Led, для якої інтенсивність опромінення становить 1100 лк і довжину хвилі 350-500 нм. При цьому встановлено, що в початковий момент часу початку

опромінення, що буде відповідати і часу початку полімеризації, інтенсивність відбитого випромінювання становила 990 лк (значення інтенсивності визначалися пропорційно до значень амплітуди відібраного сигналу на екрані осцилографа). Після 12 с інтенсивність відбитого випромінювання зрівнялася з інтенсивністю падаючого (завершення процесу полімеризації).

Фотоелектричний сигнал полімеризації при неперервному освітленні матеріалу фотополімеризатором є неперервним у часі сигналом. Однак за таким сигналом важко оцінити особливості проходження самого процесу полімеризації, від яких, у кінцевому випадку, і буде залежати міцність матеріалу. Тому в роботі запропоновано проводити опромінювання матеріалу імпульсами світла, причому в відібраному фотоелектричному сигналі буде відображено процеси початку полімеризації, власне полімеризації та кінця полімеризації, параметри яких і будуть інформативними характеристиками міцності матеріалу. Запропоновані такі параметри імпульсів світла: тривалість 1 с, період імпульсів 2 с, значення яких обґрунтовується лише зручністю проведення експерименту та підтвердженням якості запропонованого методу неруйнівного оцінювання міцності. Тривалість опромінення матеріалу неперервним випромінюванням повинна становити не менше 12 с. У роботі стверджують, що цього часу опромінення достатньо для повної полімеризації матеріалу. Проте тривалість опромінення при імпульсному опроміненні повинна становити не менше 24 с.

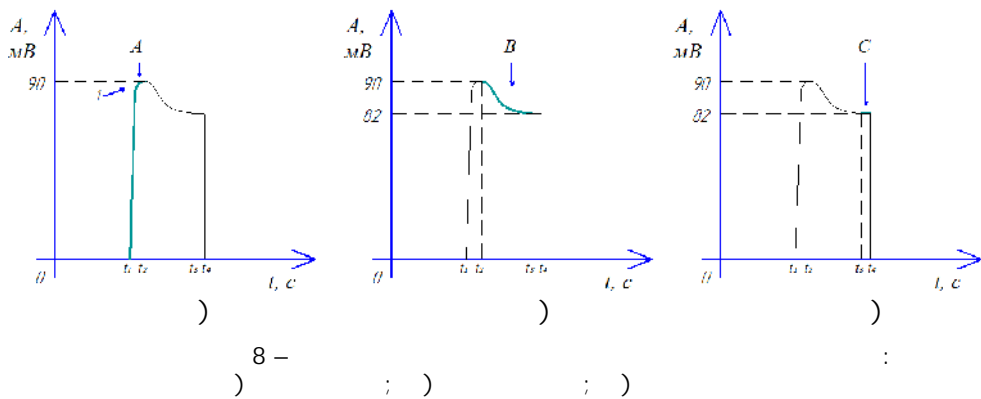
На рис. 7. зображено вигляд одного імпульсу фотоелектричного сигналу полімеризації матеріалу, який зареєстровано за допомогою структурної схеми (рис. 5).



7 –

Максимальне амплітудне значення фотоелектричного сигналу - порядку 90 мВ. У сигналі наявна складова, спричинена частиною світлового потоку, що відбилася від поверхні матеріалу, з інтенсивністю  $I_1$ . Імпульс містить три основні півхвилі - , та . Розглянемо їх фізичний зміст. На рис. 8. зображено вигляд імпульсу з виділеними півхвилями.

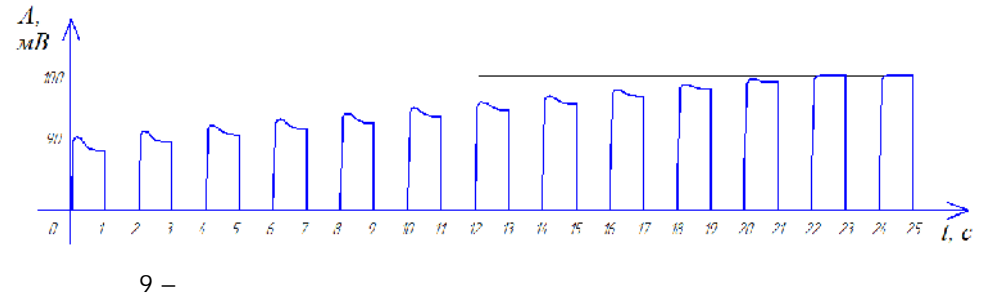
На рис. 8 а цифрою 1 зі стрілкою показано вертикальну лінію, що є фронтом імпульсу пуску лампи фотополімеризатора. Жирною лінією показано півхвилю А, що є переднім фронтом імпульсу фотоелектричного сигналу. Він є дещо похилим і характеризує перехідний процес виходу лампи на усталений режим роботи. Відрізок часу  $t_1-t_2$  характеризує час перехідного процесу запалювання лампи фотополімеризатора.



На рис. 8 б показано вигляд півхвилі В. При потраплянні на неполімеризований шар матеріалу світла від фотополімеризатора запускається процес полімеризації цього шару. Однак цей процес є інерційним і проходить за логарифмічним законом. Півхвиля В відображає саме перехідний процес процесу полімеризації, проте, враховуючи те, що інтенсивність світлового потоку  $I_2$  обернено пропорційна процесу полімеризації, вигляд півхвилі В також є оберненим до вигляду логарифмічного закону. Часовий інтервал  $t_2-t_3$  характеризує час перехідного процесу.

На рис. 8 в зображено вигляд півхвилі С. Після завершення перехідного процесу починається власне процес полімеризації, який і відображує півхвиля С. Його тривалість відображується часовим інтервалом  $t_3-t_4$ .

На рис. 9 зображено загальний вигляд фотоелектричного сигналу, отриманий під час опромінення матеріалу імпульсами УФ-випромінювання тривалістю 1 с із періодом 2 с упродовж 25 с.



**ВИСНОВКИ**

У результаті проведеного аналізу методів оцінювання фізико-механічних властивостей стоматологічного матеріалу встановлено, що ці методи є руйнівними (впливають на структуру матеріалу) і після їх проведення використання матеріалу є неможливим. Перспективним є запропонований оптичний метод, що ґрунтується на комп'ютерному оцінюванні зміни інтенсивності відбитого від поверхні полімеризованого шару стоматологічного матеріалу ультрафіолетового випромінювання, яке використовується для процесу полімеризації. Метод комп'ютерного оцінювання може бути практично використаний як складова частина стоматологічної системи для реалізації функції неперервного в часі контролю процесу полімеризації стоматологічного матеріалу.

Запропонований метод подано на патентування та формування авторського свідоцтва.

**THE METHOD OF COMPUTER EVALUATION OF DENTAL MATERIALS STRENGTH OF PHOTOVOLTAIC SIGNAL**

**V. Nykytyuk, L. Dediv, M. Khvostivsky,**

Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil, Ukraine,  
E-mail: Slavik\_89@ukr.net

An evaluating method of the strength of dental material, based on the assessment of change the intensity of reflected ultraviolet radiation from the polymerized dental material surface layer, which is used for the polymerization process.

**Key words:** dental material, polymerization, photoelectric signal, ultraviolet light.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Ландсберг Г. С. Оптика 6-е изд., стереот. / Г. С. Ландсберг. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 848 с.
2. Бугер П. Оптический трактат о градации света / П. Бугер, пер. с франц. - М.: АН СССР; Год: 1950. - 484 с.
3. Браун Д. Спектроскопия органических веществ / Д. Браун, А. Флойд, М. Сейнзбери; пер. с англ. - М.: Мир, 1992. - 300 с.
4. Вилков Л. В. Физические методы исследования в химии. Структурные методы и оптическая спектроскопия / Л. Вилков, Ю. Пентин. - М.: Мир, 2006. - 683 с.