

В. Ф. Макеєв, В. Р. Скальський, В. Г. Мартінек, Г. Б. Мартінек, О. С. Кирманов

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА АКУСТИКО-ЕМІСІЙНА ОЦІНКА МІЦНОСТІ ФІКСУЮЧИХ ЦЕМЕНТІВ

Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького

<sup>1</sup>Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України

**Актуальність досліджень.** Низька клінічна коронка – це коронка зуба, яка не задовольняє як естетичні вимоги щодо її пропорційності, так і не відповідає функціональним критеріям ретенції штучної коронки за необхідності її застосування на таких зубах. Низькі коронки є однією з найважливіших обставин, що ускладнює розв'язання клінічних завдань в ортопедичній стоматології [1]. Навіть за дотримання всіх вимог до препарування лікар-стоматолог може зіштовхнутися з недостатньою площею кукси зуба, що не гарантує надійну фіксацію ортопедичної конструкції на кшталт штучної коронки чи мостоподібного протеза [3-4].

Попри очевидні переваги оперативних та ортодонтичних методів корекції порушеної пропорції зубів для покращення фіксації ортопедичних конструкцій у практичній стоматології вони застосовуються рідко. Тому постала актуальна потреба вивчення поведінки різних видів цементів під час жування в умовах низьких клінічних коронок. Оскільки відтворити фізіологічні умови жування в лабораторних умовах майже неможливо, то має сенс відтворення основного руйнівного фактора для цементу – жувального навантаження [4-5]. Такі експериментальні дослідження можуть виявити та оцінити критичні силові значення навантаження для цементів, що відповідатимуть моменту зародження

тріщин, їх крихкому або в'язкому поширенню аж до остаточного руйнування структури фіксувального цементу.

**Метою досліджень** є оцінка за параметрами сигналів акустичної емісії міцності цементів, які використовують для фіксації мостоподібних протезів за наявності низьких клінічних коронок опорних зубів та ранжування їх за здатністю чинити опір руйнуванню.

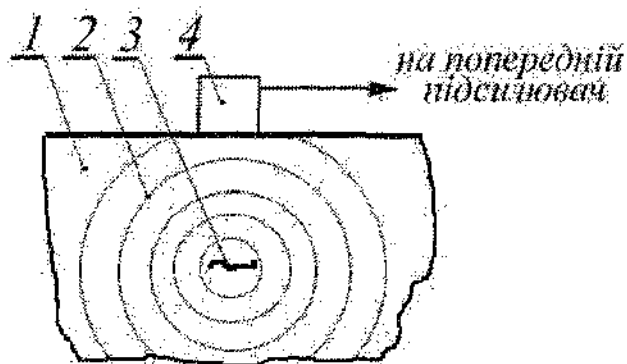
**Матеріали і метод досліджень.** Експериментальні дослідження здійснено на моделях мостоподібних протезів із натуральних, неушкоджених зубів, залитих у епоксидну смолу. Для відтворення фізіологічної рухомості зуба їхні корені покрили тонким прошарком еластичного матеріалу. Коронкові частини зубів у шести моделях препарували висотою 2,5 мм, конусністю в 6 та 10 градусів. Металеві каркаси протезів виготовляли суцільнолитим методом товщиною 0,5 мм та фіксували на опорні зуби за допомогою 3-х видів цементів: цинк-фосфатний цемент «Harvard», склоіономерний цемент «Fuji GC1» та композитний цемент подвійної дії «Relux Unicem». Усі цементи замішували в необхідних для них (за інструкціями виробників) умовах та накладали на підготовлені (знежирені, сухі) прилеглі поверхні коронок. Після відповідної часової витримки їх випробовували стискуванням під відповідним кутом до кукси зуба квазістатичним навантаженням.

У ролі навантажувального елемента застосували лабораторну установку СВР-5, розроблену у Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України (м. Львів), яка дозволяє створювати максимальні зусилля навантаження 25 кН. Вона призначена для лабораторних досліджень міцності та статичної тріщиностійкості матеріалів і завдяки своїм конструкційним особливостям дозволяє застосовувати під час досліджень метод акустичної емісії (АЕ). Від відомих у літературі подібних установок вона відрізняється такими показниками:

Як силозбуджувач можна використовувати ручний привід, широко апробований дослідниками. Він є дуже ефективним у випадку виконання досліджень на зразках невеликих габаритів.

Спеціально розроблена конструкція шнекового редуктора дає змогу реалізувати навантаження зразків окрім стискування та розтягання додатково за механізмом поздовжнього зсуву (кручення), що задовольняє вимоги універсалізації установки.

В установці СВР-5 передбачено здійснення спостережень за боковою поверхнею зразка під час виконання експериментальних робіт через умонтований мікроскоп типу МБС-9, який забезпечує оптичний контроль за розвитком тріщини у п'ятьох діапазонах збільшення.



**Рис. 1.** Фізична суть виникнення пружних хвиль АЕ, що супроводжують руйнування: 1 № об'єкт контролю; 2 № пружна хвиля; 3 № мікротріщина (джерело пружних хвиль АЕ); 4 первинний перетворювач АЕ

В установці є можливість тарування тензометричних перетворювачів переміщення індентора з точністю до 0,01 мм за допомогою відповідних насадок на прогонич-навантажувач (індентор).

Усе це дає підстави стверджувати про кращі технічні параметри установки щодо застосування методу АЕ порівняно з машинами та установками серійного виготовлення. Передусім відчутні ці переваги в діапазоні низьких значень величин навантаження і переміщень, коли в серійних засобів настають нелінійність шкал і низька чутливість.

Відтворені та відновлені протезами моделі з дефектами зубних рядів у своїй основі були залиті в епоксидну смолу та встановлені в спеціальний пристрій, який давав змогу вибрати необхідний кут навантаження. Зразки протезів випробовували механічним навантаженням з однаковою швидкістю переміщення індентора навантажувальної установки, який контактував із проміжною частиною протеза.

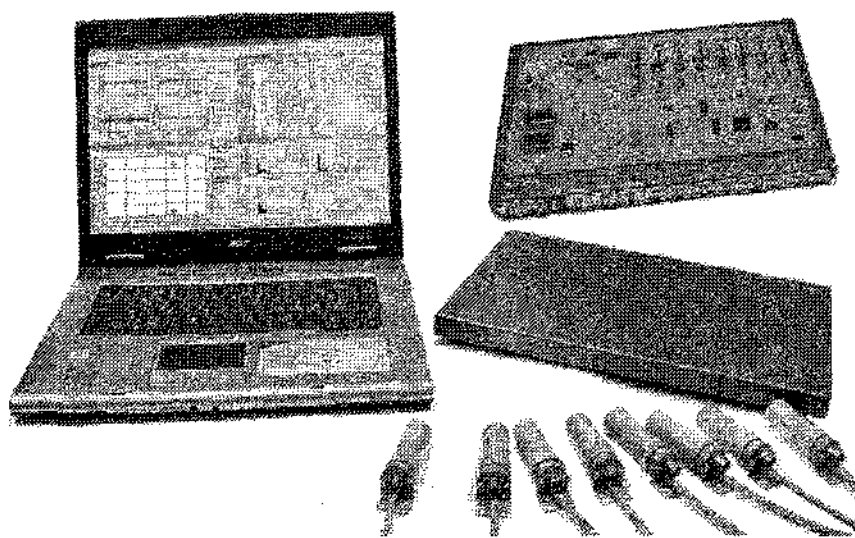
Для визначення моменту та характеру ранніх стадій зародження руйнування на металевому каркасі нерухомо фіксували первинний перетворювач АЕ, який сприймав, перетворював та пере-

давав на попередні підсилювачі портативної восьмиканальної вимірювальної АЕ-системи SKOP-8 інформацію про пружні хвилі, які утворюються внаслідок динамічної локальної перебудови структури матеріалу – мікро- чи макро-руйнування (рис. 1).

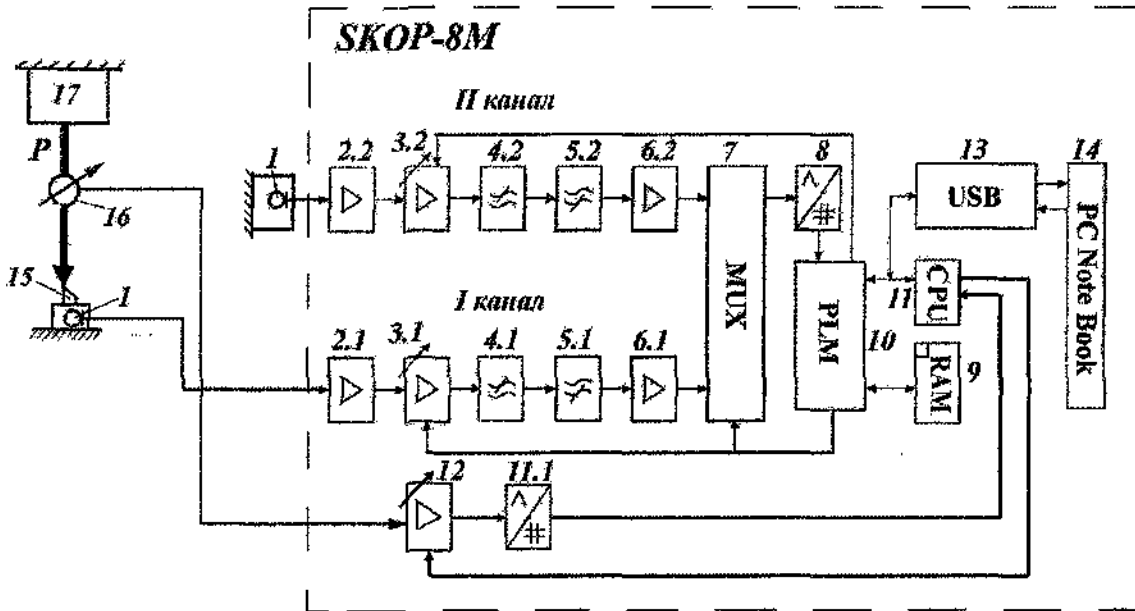
Розроблена у ФМІ НАНУ вимірювальна система забезпечує виділення, реєстрацію та попередню обробку сигналів АЕ (САЕ) з подальшим збереженням їх у пам'яті персонального комп'ютера (ПК) типу «Note Book» для необхідної постобробки отриманих даних, їх візуалі-

зації в реальному масштабі часу тощо [7]. За допомогою наявного програмного забезпечення проводиться визначення координат джерел САЕ з графічним їх відображенням на дисплеї комп'ютера у співвідношенні із зображенням розгортки об'єкта контролю і відтворення хвильового відображення події АЕ. Система дає змогу отримати такі характеристики САЕ: хвильове відображення сигналів, спектр частот, амплітуда огинаючої, сумарний рахунок, сума амплітуд огинаючої, швидкість рахунку, час наростання переднього фронту імпульсу, його тривалість тощо. Зовнішній вигляд вимірювальної АЕ-системи показано на рис. 2.

Система здійснює реєстрацію САЕ по восьми незалежних інформаційних сигнальних каналах і в момент приходу САЕ, що перевищує встановлений пороговий рівень шумів, по будь-якому з восьми каналів, починається запис сигналів АЕ у цифровому форматі на всіх каналах із часовою прив'язкою кожного. Отримана інформація візуалізується на дисплеї ПК у реальному масштабі часу.



**Рис. 2.** Зовнішній вигляд інформаційно-вимірювальної АЕ-системи SKOP-8М і додаткового обладнання



**Рис. 3.** Структурна схема експериментальних досліджень: 1 – первинний перетворювач АЕ; 2 – попередній підсилювач; 3 – підсилювач з програмованим коефіцієнтом підсилення; 4 – фільтр низьких частот; 5 – фільтр високих частот; 6 – масштабуючий підсилювач; 7 – комутатор; 8 – аналого-цифровий перетворювач; 9 – оперативно-запам'ятовуючий пристрій; 10 – програмована логічна інтегральна схема; 11 – сигнальний процесор; 12 – підсилювачі параметричних каналів; 13 – приймач-передавач USB; 14 – персональний комп'ютер; 15 – досліджуваний зубний протез; 16 – тензометричний динамометр; 17 – навантажувальна установка СВР-5

На рис. 3 показано структурну схему АЕ-досліджень, що використана нами для оцінки за сигналами АЕ процесів мікротріщиноутворення в кожному акті навантаження протезів.

Отож під час навантаження синхронно реєстрували сигнали АЕ, за якими визначали наванта-

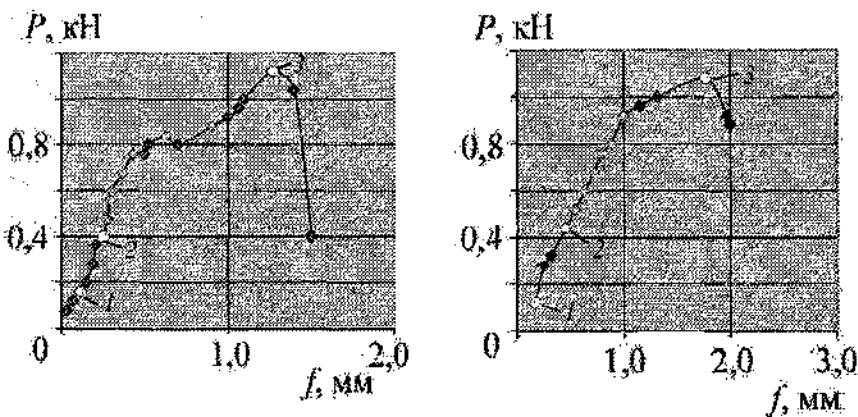
ження:  $P_{AE}$  – початок зародження та ранніх стадій руйнування,  $P_M$  – початок розвитку макротріщини (макроруйнування) та  $P_{max}$  – максимальне навантаження, за якого мостоподібна конструкція розпадається на частини.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Відомо [6], що амплітуди сигналів АЕ в разі утво-

рення тріщин прямо пропорційні площі новоутвореного дефекту, а швидкість наростання переднього фронту імпульсу АЕ свідчить про механізми крихкого чи в'язкого руйнування. Випробування показали, що за досягнення значень навантаження  $P_M$  виникали потужні пружні хвилі АЕ навіть у аудіодіапазоні, які сприймалися слуховими органами людини як тріск. Він супроводжує подальший розвиток руйнування з ростом навантаження аж до розпаду мостоподібної конструкції на частини.

На рис. 4 показано залежність зміни зусилля навантаження  $P$  від величини переміщення індентора  $f$  для різних фіксувальних цементів.

Діаграми, представлені на рис. 4, показують різний характер перебігу руйнування в конструкціях залежно від типів цементу. При цьому зусилля навантаження майже ідентичні в досліджуваних зразках, проте жорсткість останніх різна.



**Рис. 4.** Діаграма  $P-f$  протезів зі склоіономерного та композитного цементів для куток  $6^\circ$ : а – «Relux Unicem»; б – «Fuji GC I». Цифрами 1–3 на рисунках позначені точки навантаження  $P_{AE}$ ,  $P_M$  та  $P_{max}$  відповідно

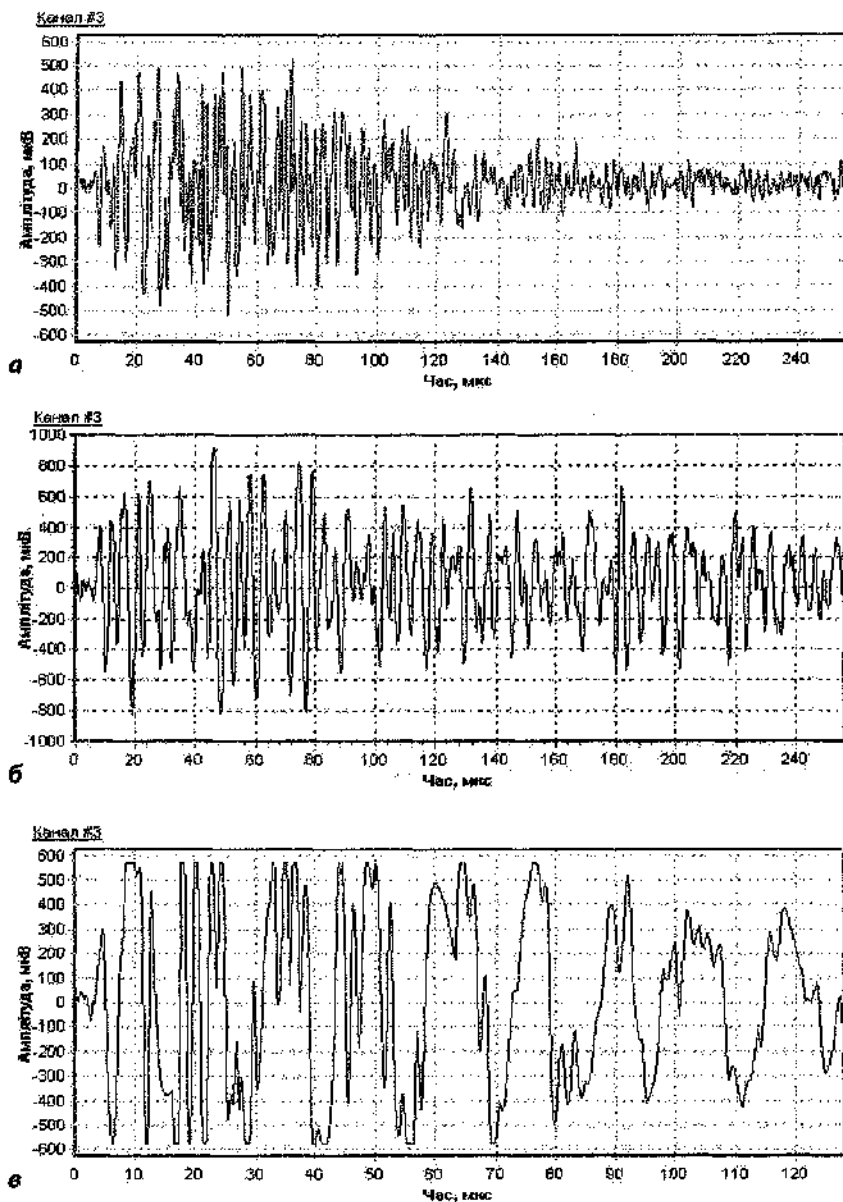


Рис. 5. Характерні сигнали АЕ в околі виділені на діаграмі (рис. 3) точок навантаження: а № за наближення до точки РАЕ; б № РМ; в № Рmax

**Результати експериментальних досліджень**

Таблиця

Характерна точка діаграми	Навантаження, Н		
	цинк-фосфат «Harvard»	склоіономер «Fuji GC I»	Композит подвійної дії «Relux Unicem»
РАЕ			
Кукса 60	120	80	90
Кукса 100	110	80	80
РМ			
Кукса 60	320	400	400
Кукса 100	270	350	390
Рmax			
Кукса 60	1010	1120	1180
Кукса 100	830	750	820

На рис. 5 наведено характерні сигнали АЕ в околі виділені на рис. 3 точках діаграми навантаження. Спочатку амплітуди сигналів незначні, а зі збільшенням навантаження сигнали, що супроводжують руйнування, зростають і набувають характеру дискретних високоамплітудних імпульсів, що свідчить про макроруйнування за крихким механізмом його розвитку на докритичній стадії.

Опрацьовані результати досліджень, наведені в таблиці, ілюструють показники міцності цементів, якими фіксували мосто-подібний протез до кукси конусністю 6° та 10°.

**Висновки.** На підставі проведених експериментальних АЕ-досліджень та враховуючи відомі дані з літературних джерел, ми дійшли відповідних висновків.

- Цинкфосфатний цемент «Harvard» за своїми пружними властивостями стійкіший до зародження руйнування та еластичніший щодо склоіономеру та композиту, що надає йому перевагу під час використання в конструкціях з низькою жорсткістю.

- Діапазон макроруйнування (400–1080 Н) структури цементу в представників склоіономеру ширший, ніж у цинкфосфаті, що забезпечує надійніше з'єднання за циклічного навантаження (до 400 Н).

- Композит подвійної дії мало відрізняється за своїми пружними властивостями від склоіономеру «Fuji».

- Кут перпарування низької кукси опорного зуба виразно впливає на стійкість та крихкість цементу. Кут кукси в 10° приблизно на 20% знижує фіксаційні властивості будь-якого виду цементу.

- Найкращі результати в умовах низьких клінічних коронок опорних зубів можна отримати за препарування кукси під кутом не більше 6° та використовуючи склоіономерні цементы.

**Література**

1. Лиман А. А. Вивчення міцності з'єднання штучної коронки зуба з опорною куксовою конструкцією / Лиман А. А., Петрикас О. А., Петрикас І. В. // Клінічна стоматологія. – 2008. – Т. 47, № 3. – С. 100-101.
2. Акатьев В. А. Причины преждевременного снятия коронок и мостовидных протезов / Акатьев В. А. // Стоматология. – 1979. – Т. 58, № 2. – С. 84.
3. Ортопедическая стоматология / [Аболмасов Н. Г., Аболмасов Н. Н., Бычков В. А., Шамшурина В. Р.] – М.: Мед. пресс-информ, 2002. – С. 38-63.
4. Создание новых фиксирующих материалов для несъемных протезов / [Трезубов З.Н., Штейнгарт М.З., Емгазов В. С., Быстров А. Г.] // Актуальні проблеми ортопедичної стоматології. – 1996. – № 20. – С. 17-32.
5. Ортопедическая стоматология / [Аболмасов Н. Г., Аболмасов Н. Н., Бычков В. А., АльХаким А.] – Смоленск, 2000. – 576 с.
6. Назарчук З. Т. Акустико-емісійне діагностування елементів конструкцій: науково-технічний посібник. – У 3 т. Т. 2. Методологія акустико-емісійного діагностування / Назарчук З. Т., Скальський В. Р. – К: Наук. думка, 2009. – 263 с.
7. Назарчук З. Т. Акустико-емісійне діагностування елементів конструкцій: науково-технічний посібник. – У 3 т. Т. 3. Засоби та застосування методу акустичної емісії / Назарчук З. Т., Скальський В. Р. № К: Наук. думка, 2009. № 327 с.

Стаття надійшла  
20.04.2012 р.

**Резюме**

Висвітлені результати експериментальних досліджень механічної міцності різних видів фіксуючих цементів за умов низьких клінічних коронок опорних зубів, препарованих під кутом 6 і 10 градусів. Дослідження проводили з використанням явища акустичної емісії. Отримані результати дозволили провести ранжування цементів за міцністю.

**Ключові слова:** низькі клінічні коронки, опорні зуби, фіксуючий цемент, руйнування, акустична емісія

**Резюме**

Освещены результаты экспериментальных исследований механической прочности разных видов фиксирующего цемента при условиях низких клинических коронок опорных зубов, препарированных под углом 6 и 10 градусов. Исследования проводили с использованием явления акустической эмиссии. Полученные результаты позволили провести ранжировку цементов по прочности.

**Ключевые слова:** низкие клинические коронки, опорные зубы, фиксирующий цемент, разрушение, акустическая эмиссия

**Summary**

The results of experimental research of mechanical durability of different types of fixing cements at low clinical crowns of the supporting teeth prepared at an angle of 6 and 10 degrees are highlighted. The study was conducted with the use of the phenomenon of acoustic emission. The obtained results allowed to rank cements on their durability.

**Ключевые слова:** low clinical crowns, supporting teeth, fixing cement, destroy, acoustic emission.