

УДК 621.396.019.3:539.3/4

Ю.М. Сидоренко, доцент, канд. техн. наук,

М.С. Шидловський, доцент, канд. техн. наук,

Д.Ю. Шпак, доцент, канд. техн. наук,

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут",

пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

E-mail: d_shpak@ukr.net

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАДІЙНОСТІ ТА ПОШКОДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ АПАРАТІВ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ ПРИ ДІЇ КОРОТКОЧАСНИХ ТА ЦИКЛІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Описані методики розрахунків та випробувань елементів мобільного зв'язку, що дозволяють оцінювати надійність та характеристики пошкоджень при роботі в нештатних режимах.

Ключові слова: (динамічне навантаження, чисельне моделювання, надійність апаратів мобільного зв'язку, *LS-Дуна*)

Вступ. В процесі експлуатації апаратів мобільного зв'язку нерідко виникають випадки, коли вони виходять з ладу з незрозумілих для виробника причин. У зв'язку з цим виникла необхідність розробки методики щодо визначення характеру та величин навантажень, які прикладаються до елементів мобільних апаратів в процесі експлуатації [1], та отримання відповідних результатів при доведенні цих елементів до руйнування. Зокрема, розглядалися такі питання:

– визначення характеристик міцності та жорсткості контактів перемикача роторного типу ("Navi-Knob") апарату мобільного зв'язку при навантаженні вздовж його поздовжньої осі;

– визначення числа циклів до руйнування виводів перемикача роторного типу апарату мобільного зв'язку при навантаженні **P**, прикладеному перпендикулярно до його поздовжньої осі;

– визначення руйнівного навантаження при дії на екран рідкокристалічного дисплея апарату мобільного зв'язку;

– визначення зусилля спрацьовування кнопки переключення режиму та включення / виключення (кнопка "On/Off"), зусилля та деформації руйнування штовхача кнопки "On/Off".

Результати експериментальних досліджень.

Випробуванням на міцність при зазначених видах навантажень піддані такі елементи мобільного апарату:

- зразки пошкоджених перемикачів роторного типу;

- зразки пошкоджених рідкокристалічних дисплеїв;

- зразки пошкоджених мікрвимикачів (кнопки "On/Off");

- зразки апаратів мобільного зв'язку, що містять пошкоджені елементи;

- еталонні зразки кондиційних апаратів мобільного зв'язку, які не були у використанні.

Характер механічних пошкоджень наданих зразків:

– перемикачі роторного типу – руйнування (розрив) металевих виводів контактної групи;

– рідкокристалічні дисплеї – руйнування скляної поверхні екрану;

– мікрвимикачі (кнопка "On/Off") – руйнування внутрішнього полімерного штовхача.

Випробувальне обладнання. Для досліджень була застосована випробувальна машина TIRAtest у режимах повільного одноразового (швидкість переміщення 10 мм/хв) та циклічного навантажень.

Результати випробувань представлені в табл.1-4.

Таблиця 1 – Деформаційні характеристики та міцність контактів перемикача роторного типу при навантаженні вздовж його поздовжньої осі

Навантаження P, Н	Деформація, мм	Навантаження P, Н	Деформація, мм
5.24	0.11	5.20	0.10
104	0.53	110	0.60
222	1.10	224	1.12
300	1.39	296	1.35
410	1.87	399	1.96
445	2.04 (руйнування)	430	2.12 (руйнування)

Таблиця 2 – Число циклів до руйнування виводів перемикача роторного типу при навантаженні перпендикулярно його поздовжньої осі.

Амплітуда переміщення, мм	N, циклів
2.0	234
	305
	278

Таблиця 3 – Результати вимірювань руйнівного навантаження при дії на екран дисплея

Навантаження Р, Н	Деформація, мм	Навантаження Р, Н	Деформація, мм
2.22	0.04	3.11	0.05
7.40	0.10	7.65	0.10
12.80	0.15	13.10	0.15
18.80	0.20	19.90	0.20
25.10	0.25	26.30	0.25
30.90	0.30	31.70	0.30
37.90	0.35	38.40	0.35
41.40	0.38 (руйнування)	42.40	0.41 (руйнування)

Таблиця 4 – Результати випробувань штовхача кнопки "On/Off"

Зусилля спрацювання кнопки, Н	Зусилля руйнування штовхача, Н	Деформація руйнування, мм
3.58	375.5	4.02
3.84	1059.2	3.58
4.01	863.6	3.76

Результати розрахунків поведінки контактної групи перемикача роторного типу апаратів мобільного зв'язку при дії динамічного навантаження, спрямованого в напрямку його поздовжньої осі.

Схема навантаження. Розглядалися варіанти розрахунку на міцність контактної групи перемикача при умові спрямованого вільного падіння апарату мобільного зв'язку перемикачем вниз з висот 1, 1,5 та 2 м на абсолютно жорстку поверхню. При цьому вважалося, що захисні елементи (антена, ручка управління перемикача) зняті та більша частина потенційної енергії мобільного апарату йде на деформування та руйнування контактної групи перемикача (умови "найгіршого" випадку).

В математичній постановці аналогом зазначеної схеми навантаження є схема, в якій торцеві поверхні контактної групи (3) є закріпленими та нерухожими, а модель перемикача (1) має відповідну висоті кидання початкову швидкість свого руху (рис. 1).

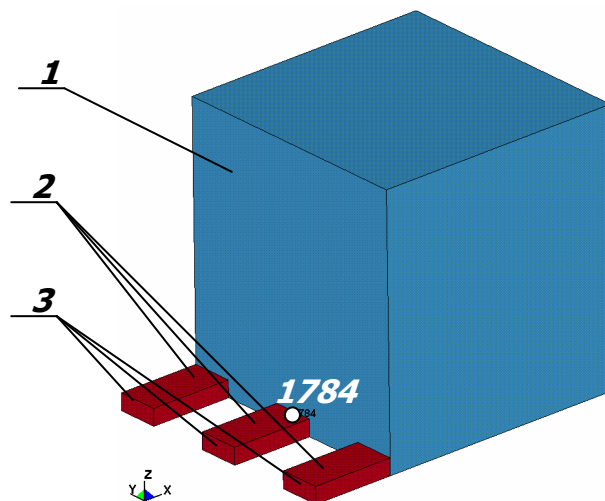


Рисунок 1 – Розрахункова схема перемикача: 1 – модель корпусу перемикача роторного типу апаратів мобільного зв'язку; 2 – контактні групи; 3 – торцеві поверхні контактних груп, що нерухожо закріплювалися

Застосувавши рівняння, що описують рух вільного падіння матеріальної точки з певної висоти, можна зробити висновок, що миттєва швидкість апарату мобільного зв'язку, а також і перемикача, в момент контакту з абсолютно жорсткою поверхнею приблизно буде мати значення 4 м/с, 5 м/с та 6 м/с при його падінні з 1 м, 1,5 м та 2 м відповідно. При цьому вважається, що половина маси мобільного апарату буде зосереджена в середині корпусу перемикача 1 (100г).

В математичній постановці контактна група представляла собою набір з трьох елементів, розташованих на відстані 1,5 мм один від одного, причому кожний з них мав форму паралелепіпеду. Розміри поперечного перерізу становили 0,4x0,9 мм. Довжина елементів дорівнювала 2 мм.

Як матеріал контактної групи була обрана мідь. Дослідження процесу її деформування проводилося за допомогою ідеальної пружно-пластичної математичної моделі з кінематичним зміцненням [4-6] з такими параметрами:

- густина – 9000 кг/м³;

- модуль пружності першого роду – 130 ГПа;
- коефіцієнт Пуассона – 0,32;
- тангенційний модуль пружності – 1ГПа;
- границя текучості – 350МПа.

За критерій руйнування був обраний критерій досягнення елементами контактної групи критичного значення пластичної деформації $\epsilon_p - 0,8$.

Задача розв'язувалася в лагранжевій постановці [3], тобто вузли скінченно-елементної розрахункової сітки були жорстко зв'язані з елементами контактної групи та переміщувалися разом з ними під час процесу деформування. Деякі кадри комп'ютерного моделювання відповідного процесу зображені на рис.2.

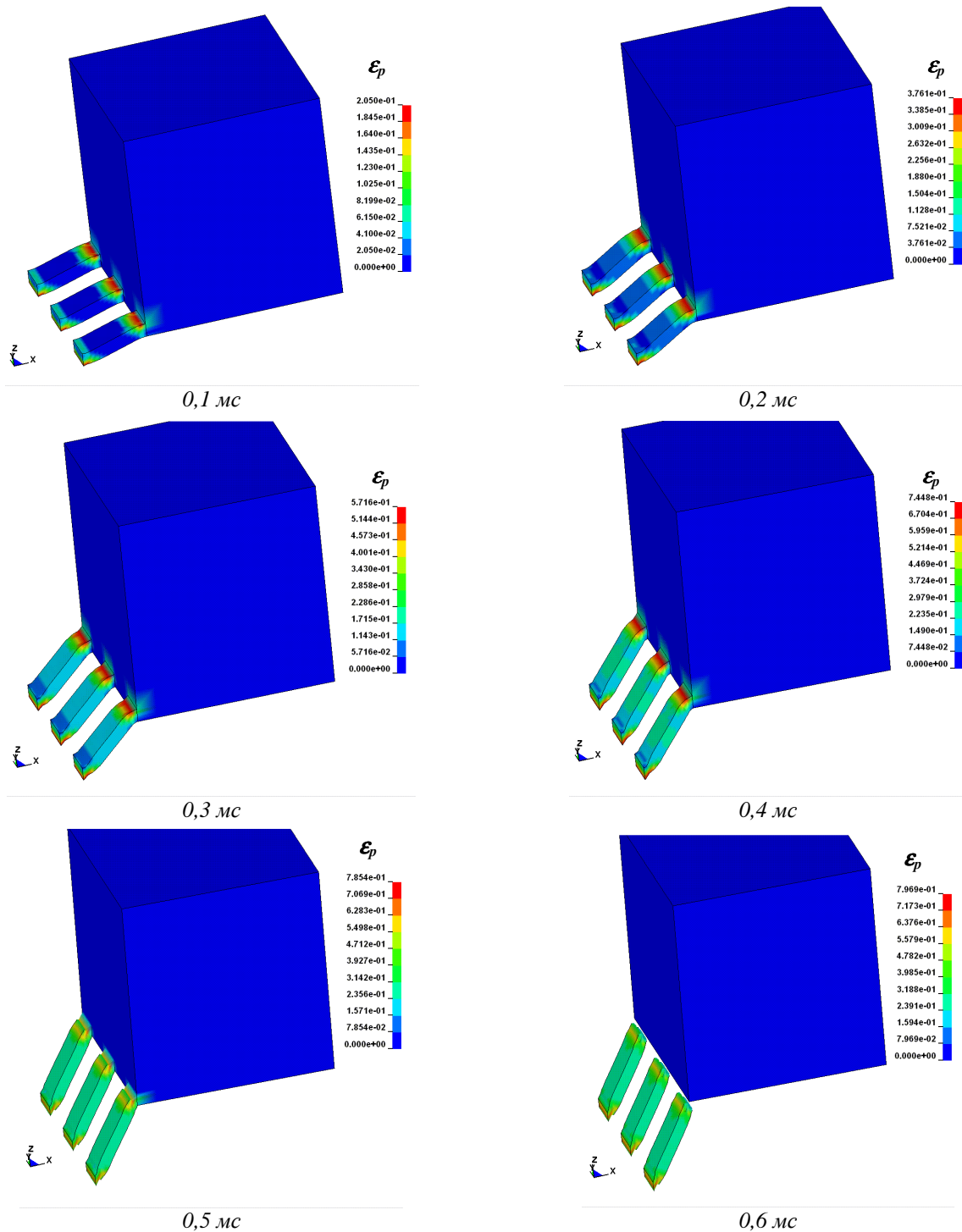


Рисунок 2 – Кадри комп'ютерного моделювання процесу деформування контактної групи перемикача роторного типу (початкова швидкість перемикача – 5 м/с)

Результати розрахунків. Як результат дослідження аналізувалася інформація про поведінку вузла скінченно-елементної сітки №1784 (рис. 1), який знаходився між корпусом перемикача (1) та середнім виводом контактної групи, а саме його швидкість та переміщення у вертикальному напрямку (координатна вісь – z) (рис. 3).

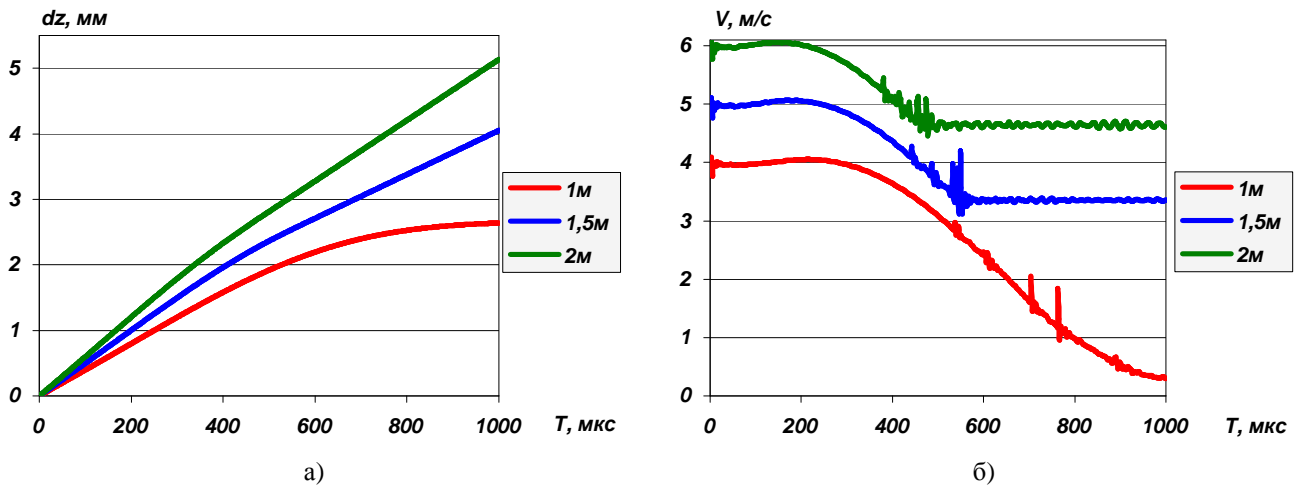


Рисунок 3 – Переміщення (а) та швидкість (б) вузла №1784.

З рис.3а видно, що одна з кривих переміщень в момент часу $T=1\text{мс}$ стає майже горизонтальною. Це свідчить про те, що зростання значення переміщення вузла скінченно-елементної сітки №1784 практично зупинилось. Даний факт також підтверджується поведінкою графіку швидкості руху даного вузла. З рис.3б видно, що в цей самий час значення швидкості переміщення практично впало до нуля, що свідчить про достатню міцність елементів контактної групи до дії певного динамічного навантаження. Слід зазначити, такий результат відповідає варіанту задачі деформування контактної групи перемикача, коли початкова швидкість його руху становила 4 м/с. Інші залежності, які відповідають варіантам задачі в яких початкова швидкість корпусу перемикача становила 5 м/с та 6 м/с вказують на практично пропорційне зростання значення переміщення (рис. 3а) та на різку зміну поведінки функції швидкості руху з параболічного на лінійно горизонтальний (рис. 3б). Така поведінка двох функцій є відображення процесу відокремлення контактної групи перемикача від його корпусу. При чому даний процес розпочинається з 440 та 378 мкс і завершується до 555 та 477 мкс відповідно.

Результати оцінки здатності прозорої частини корпусу апарату мобільного зв'язку захищати її дисплей при дії динамічного навантаження.

Розглядався варіант розрахунку на жорсткість прозорої частини корпусу апарату мобільного зв'язку при умові її спрямованого вільного падіння лицевою частиною монітору вниз з висоти 1 та 1,5м на торцеву поверхню абсолютно жорсткого стрижня. При цьому вважалось, що вся потенційна енергія мобільного пристрою йде на деформування цієї частини корпусу (умови "найгіршого" випадку).

Розрахункова схема зображена на рис. 4.

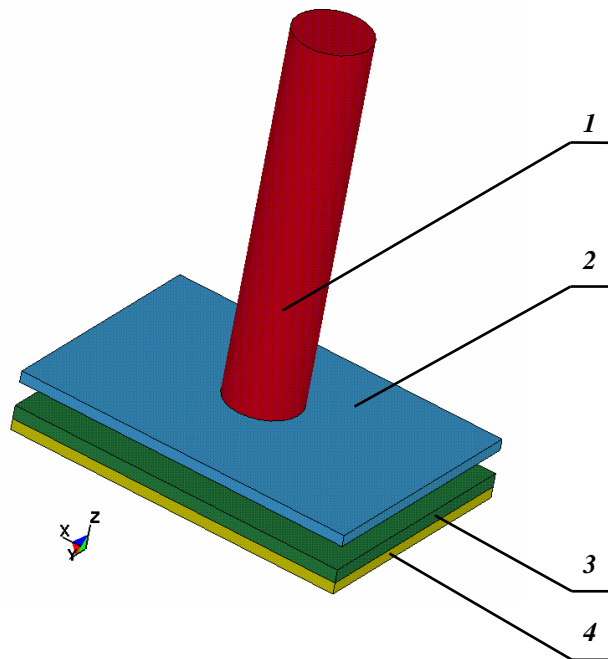


Рисунок 4. – Розрахункова схема: 1 – ударник; 2 – захисний прозорий екран; 3 – дисплей; 4 – опора.

В математичній постановці зазначена вище схема навантаження буде складатися з циліндричного стрижня 1, який падає зі швидкістю 4 м/с та 5 м/с на прозору частину корпусу мобільного апарату 2, що приблизно відповідає його падінню з висот 1 м та 1,5 м. Даний захисний екран має форму пластини, торцеві поверхні якої є закріпленими та нерухомими.

На відстані 3,2 мм від тильної поверхні екрану знаходиться монітор мобільного пристрою, який складається з двох частин – скляного індикаторного дисплею та пластикової опори. Як і у випадку захисного екрану торцеві поверхні монітору були також закріплені та нерухомі.

Розміри моделей екрану, дисплею та опори були однаковими:

- довжина – 46 мм;
- ширина – 32 мм;
- товщина – 1,5 мм,

але товщина скляного дисплею була більшою і дорівнювала 1,8 мм.

Матеріал захисного прозорого екрану та опори дисплею – полікарбонатний литий пластик деформування якого в математичній постановці описувалося ідеальною пружно-пластичною моделлю (PLASTIC_KINEMATIC) з наступними параметрами [4-6]:

- густина – 1190 кг/м^3 ;
- модуль пружності першого роду – 3,3 ГПа;
- коефіцієнт Пуассона – 0,37;
- границя текучості – 80 МПа.

Матеріал дисплею – скло, процес деформування якого описувався за допомогою в'язко-пружної моделі (VISCOELASTIC) з параметрами, що рекомендовані в роботі [4].

Для визначення ступеню деформування захисного екрану та встановлення його спроможності захистити скляну поверхню монітору було прийнято, що вся маса мобільного апарату (200 г) буде зосереджена в середині стрижня 1, розміри якого становили: діаметр – 10 мм, висота – 50 мм. За даної умови було розраховано відповідне значення густини стрижня, що становила – $5,1 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^3$. Крім того задача розв'язувалася в лагранжевій постановці [3].

Результати розрахунків. Як результати дослідження аналізувалася інформація про швидкість та переміщення у вертикальному напрямку вузлів скінченно-елементної сітки (рис. 5):

- №14634, що знаходиться на вільній поверхні стрижня, оберненої до пластини, на лінії його падіння.
- №7486, що знаходиться в центрі тильної поверхні захисного екрану;
- №10334, що знаходиться в центрі лицьової поверхні дисплею.

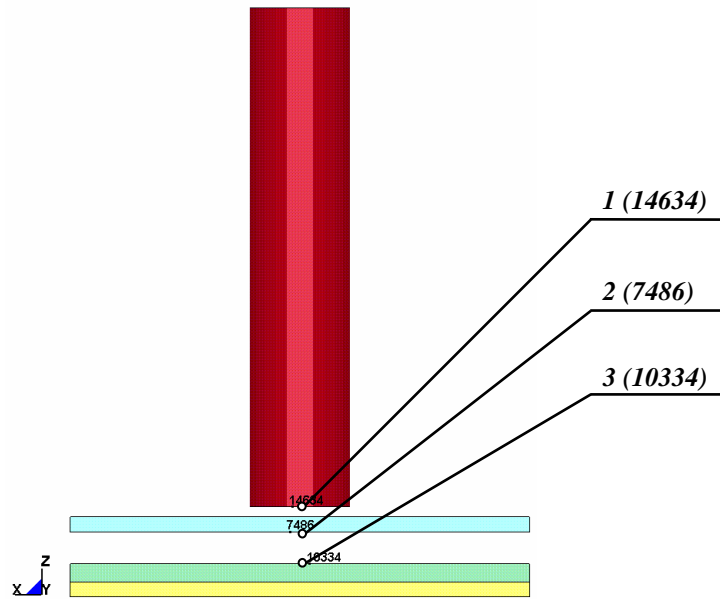
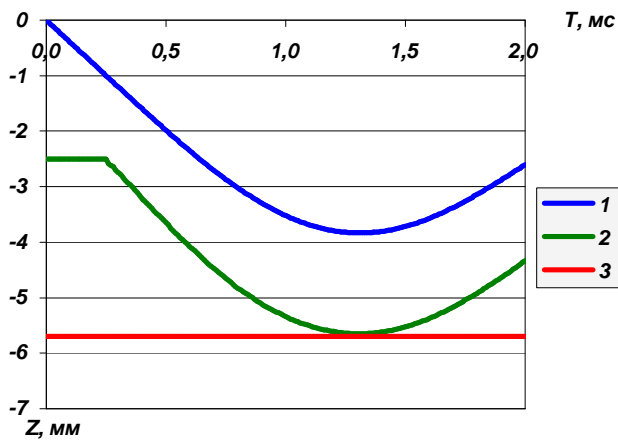
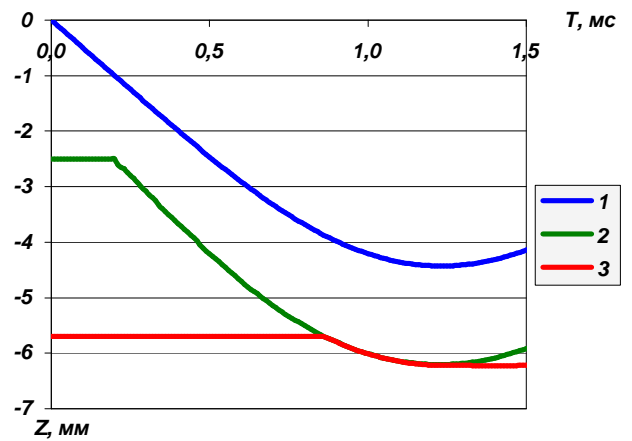


Рисунок 5 – Положення вузлів скінченно-елементної сітки задачі, рух яких досліджувався:
1 – вузол №14634; 2 – вузол №7486; 3 – вузол №10334.

Основні результати розрахунків зображені на рис.6 та 7.

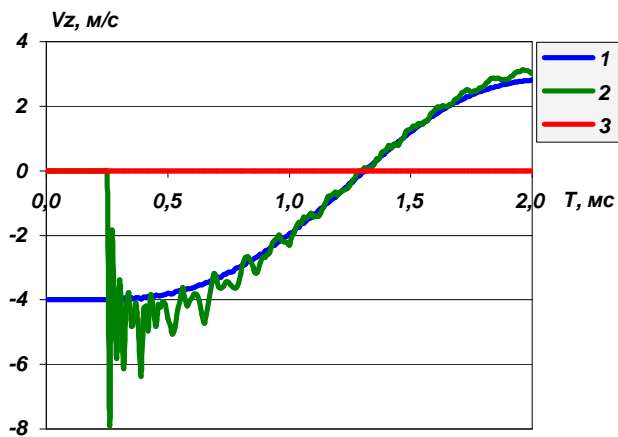


а)

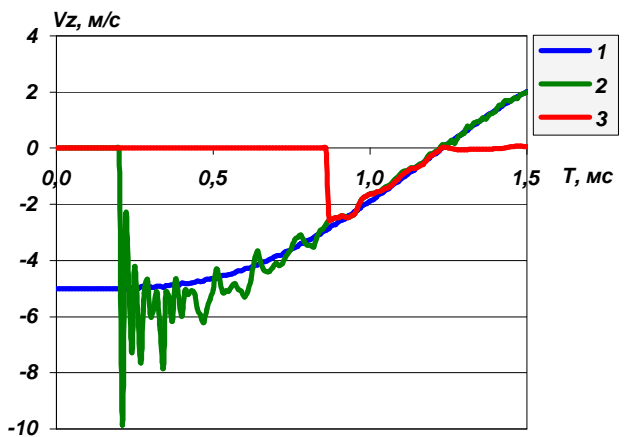


б)

Рисунок 6 – Зміна вертикальної координати вузлів скінченно-елементної сітки Z:
а) початкова швидкість ударника – 4 м/с, б) початкова швидкість ударника – 5 м/с,
1 – вузол №14634; 2 – вузол №7486; 3 – вузол №10334.



а)



б)

Рисунок 7 – Зміна значень вертикальної швидкості вузлів скінченно-елементної сітки Vz:
а) початкова швидкість ударника – 4 м/с, б) початкова швидкість ударника – 5 м/с,
1 – вузол №14634; 2 – вузол №7486; 3 – вузол №10334.

Представлені залежності свідчать про те, що при швидкості падіння циліндричного стрижня зі швидкістю 4 м/с величина прогину центральної частини захисного екрану приблизно дорівнює величині зазору між ним та дисплеєм рівному 3,2 мм. Причому значення осьової швидкості вузла №10334, який знаходиться на лицьовій поверхні дисплея, дорівнює нулю, що констатує збереження його цілісності.

У випадку падіння стрижня зі швидкістю 5 м/с зазор між екраном та дисплеєм не тільки закривається, а й виникає певне стискне зусилля на лицьовій поверхні дисплея. Про це свідчить різке зростання значення осьової швидкості до 2,5 м/с в момент часу $T \approx 0,8$ мс. Але якщо порівняти величину прогину скляного дисплею під час проведення досліджень на міцність при статичному навантаженні (табл. 3) з відповідною величиною переміщень при динамічному навантаженні (рис.6б), то можна зробити висновок, що падіння стрижня на поверхню захисного екрану зі швидкістю 5 м/с є максимально допустимим для того аби забезпечити цілісність монітору апарату мобільного зв'язку.

Висновки.

1. Розроблені методики розрахунків та випробувань елементів мобільного зв'язку, що дозволяють оцінювати надійність та характеристики пошкоджень при роботі в нештатних режимах.

2. Для заданих умов навантаження перемикача роторного типу можна констатувати, що для варіанту задачі падіння конструкції з висоти в 1,0м (початкова швидкість перемикача – 4 м/с) контактна група зберігає свою цілісність. Для інших варіантів задачі з початковими швидкостями корпусу перемикача 5 м/с та 6 м/с (падіння з висот 1,5 та 2м відповідно) відбувається руйнування елементів контактної групи.

3. Для всіх варіантів навантаження захисного прозорого екрану апарату мобільного зв'язку, а саме умовам падіння на нього циліндричного стрижня масою 200 г зі швидкостями 4 та 5 м/с скляна поверхня його монітора зберігає свою цілісність. Причому значення швидкості 5 м/с є критичним.

Бібліографічний список

1. ETSI EN 300 019-1-7 V2/1/4/(2003-04) Environmental Engineering (EE); Environmental conditions and environmental test for telecommunications equipment; Part 1-7: Classification of environmental conditions; Portable and non-stationary use.
2. <http://www.spk-stroyplast.ru/?D=47> (пластик для захитного екрана)
3. Рудаков К.М. Чисельні методи аналізу в динаміці та міцності конструкцій: Навч. посібник. – К.: НТУУ "КПІ", 2007. – 379 с.: іл.
4. LS-DYNA 971. Keyword user's manual. Livermore software technology corporation (LSTC), 2007. – Volume 1. – 2206р.
5. <http://www.dynasupport.com/manuals>.
6. John O. Hallquist. LS-DYNA. Theory manual. Livermore Software Technology Corporation. March 2006. – 680р.

Сидоренко Ю.М., Шидловский Н.С., Шпак Д.Е. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ И ПОВРЕЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ АППАРАТОВ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ПРИ ДЕЙСТВИИ КРАТКОВРЕМЕННЫХ И ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗОК.

Описаны методики расчета и испытания элементов мобильной связи, которые позволяют оценивать надежность и характеристики поврежденности при работе в нештатных режимах.

Ключевые слова: динамическое нагружение, численное моделирование, надежность аппаратов мобильной связи, LS-Dyna.

Sydorenko J., Shidlovskiy N., Shpak D. ESTIMATION OF RELIABILITY AND DAMAGE OF MOBILE COMMUNICATION DEVICES ELEMENTS WITH WORKING UNDER SHOCK AND CYCLIC LOADING

Calculation and test methods of mobile communication devices were described. Those methods allow estimating reliability and damage level of these devices when there are working in off-design mode.

Key words: dynamic loading, numerical modeling, reliability of mobile communication devices, LS-Dyna.