

НАУКОВІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ

УДК 621.375

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЗОНАНСНИХ СТАНІВ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ДВИГУНА

Петренко С. Ф., Кошовий О. А.

*Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут",
м. Київ, Україна*

Розробка п'єзоелектричного двигуна починається з проектування його п'єзоелектричного резонатору. Раніше для цього створювали велику кількість робочих зразків і проводили на них експерименти, з метою їх оптимізації. Зазвичай це займало багато часу і ресурсів. На сьогодні з розвитком технологій все стало набагато простіше. Створюються математичні моделі і весь потрібний аналіз проводять на комп'ютерах при різних умовах і навантаженнях. Тому, попередньо для створення якоїсь робочої моделі обов'язково потрібно проводити математичний аналіз, який дає ті результати, які збігаються з експериментальними дослідженнями. Для розробки п'єзоелектричного двигуна потрібно спочатку провести ретельний аналіз його п'єзоелектричного елемента, знайти власні частоти, площини, які можна взяти, як контактні (для кріплення штовхача), знайти параметри зміщення цих контактних площин, знайти максимум деформації. В результаті математичного моделювання були знайдені частоти при різних геометричних розмірах актюатора і зроблений порівняльний аналіз з експериментальними результатами.

Ключові слова: математична модель, п'єзоелектричний двигун, математичний аналіз.

Вступ

Лінійні п'єзоелектричні двигуни призначені для переміщення малих об'єктів з високою швидкістю. Лінійні п'єзоприводи забезпечують більш високу точність позиціювання [1].

Розробка п'єзоелектричного двигуна починається з проектування його п'єзоелектричного резонатору. Раніше для цього створювали велику кількість робочих зразків і проводили на них експерименти, з метою їх оптимізації. Зазвичай це займало багато часу і ресурсів. На сьогодні з розвитком технологій все стало набагато простіше. Створюються математичні моделі і весь потрібний аналіз проводять на комп'ютерах при різних умовах і навантаженнях. Тому, попередньо для створення якоїсь робочої моделі обов'язково потрібно проводити математичний аналіз, який дає результати, які збігаються з експериментальними дослідженнями [2,3].

Для розробки п'єзоелектричного двигуна потрібно спочатку провести ретельний аналіз його п'єзоелектричного елемента, знайти власні частоти, площини, які можна взяти, як контактні (для кріплення штовхача), знайти параметри зміщення цих контактних площин, знайти максимум деформації.

Метою роботи була розробка кінематичної структури п'єзоелектричного актюатора; побудова комп'ютерної моделі п'єзоелектричного резонатору, знахо-

дження власних резонансних коливальних частот п'єзоелектричного елементу.

В літературних джерелах відсутні математичні моделі, які дають змогу визначити власні резонансні частоти п'єзоелектричного актюатора, які залежить від геометричних розмірів актюатора. Також дана математична модель дозволяє одночасно визначати контактні точки до яких кріпляться штовхачі. Також була розроблена кінематична структура даного п'єзоелектричного двигуна. В літературних джерелах така структура відсутня.

Для побудови і проведення аналізу було обрано скінченно-елементний програмний комплекс ANSYS, який дозволяє моделювати різні стани перетворювачів, і в тому числі розраховувати його характеристики.

Створення кінематичної структури п'єзоелектричного двигуна

Розглянутий п'єзоелектричний двигун мав п'єзоелемент з електродами та виводами для збудження повздовжніх коливань, який фрикційно взаємодіє з притиснутою до нього за допомогою притискного пристрою рухомою частиною через одну контактну площадку. Площадка знаходилася у центрі п'єзоелектричного резонатору і була сформована безпосередньо на резонаторі. Розміри п'єзоелектричного резонатору та форма електродів були підібрані з умови збудження одним джерелом змінної напруги першої моди повздовжніх коливань по ширині та другої моди повздовжніх коливань по довжині, (напряму, перпендикулярному першому).

Розглянутий п'єзоелектричний резонатор мав три електроди та виводи, один з яких постійно, а два інших мали можливість бути по чергово підключеними до джерела змінної напруги для зміни напрямку рухомої частини.

Розглянутий п'єзоелектричний резонатор зображений на рис.1(а,б).

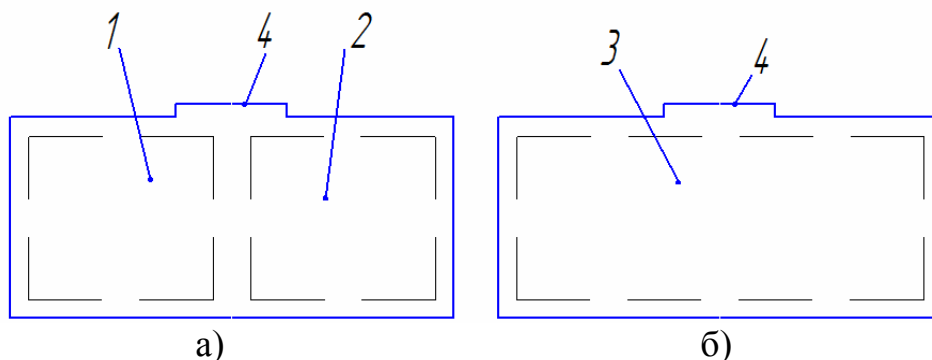
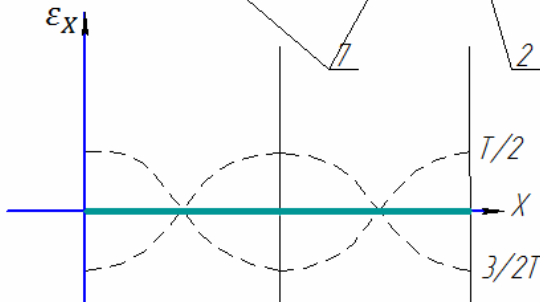


Рис. 1. П'єзоелектричний резонатор: а-лицьова поверхня резонатору; б-тильна поверхня резонатору; 1, 2 – електроди лицьової поверхні резонатору; 3 – суцільний електрод тильної поверхні резонатору; 4 – контактна площадка.

Кінематична структура розглянутого п'єзоелектричного двигуна представлена на рис. 2. В якості електромеханічної аналогії п'єзоелектричного генератора механічних коливань була вибрана електрична керована пружина в направляючих.



“X”; ϵ_y - зміщення пружини в здовж осі “Y”; T – період коливань.

метрам стоячої хвилі, яка виник в резонаторі при його збудженні. У даному п'єзоелектричному двигуні одночасно збуджуються 2 повздовжні хвилі, повздовжні хвилі з другою модою в напрямку "X" та з першою модою коливань в напрямку "Y". Тому вказаний в кінематичній схемі п'єзоелектричний резонатор був представлений комбінацією двох пружин, при чому кожна з яких знаходиться в своїх направляючих, які формують корпус пружини, при чому з'єднання другої пружини з першою здійснюється безпосередньо в максимумі коливальної швидкості. При одночасному збудженні в такій системі вище вказаних коливань виникає комбінація коливальних мод, і контактні точки починають рухатися синфазно та протифазно. Тому, якщо здійснити фрикційний контакт з нерухомою плоскою поверхнею в цих точках, буде виникати однонаправлений рух резонатора. А реверс руху буде відбуватися при зміні напрямків обертання наноеліпсу руху, що отримується зміною фази коливань другої моди по відношенню до першої на 90 град (рис. 3).

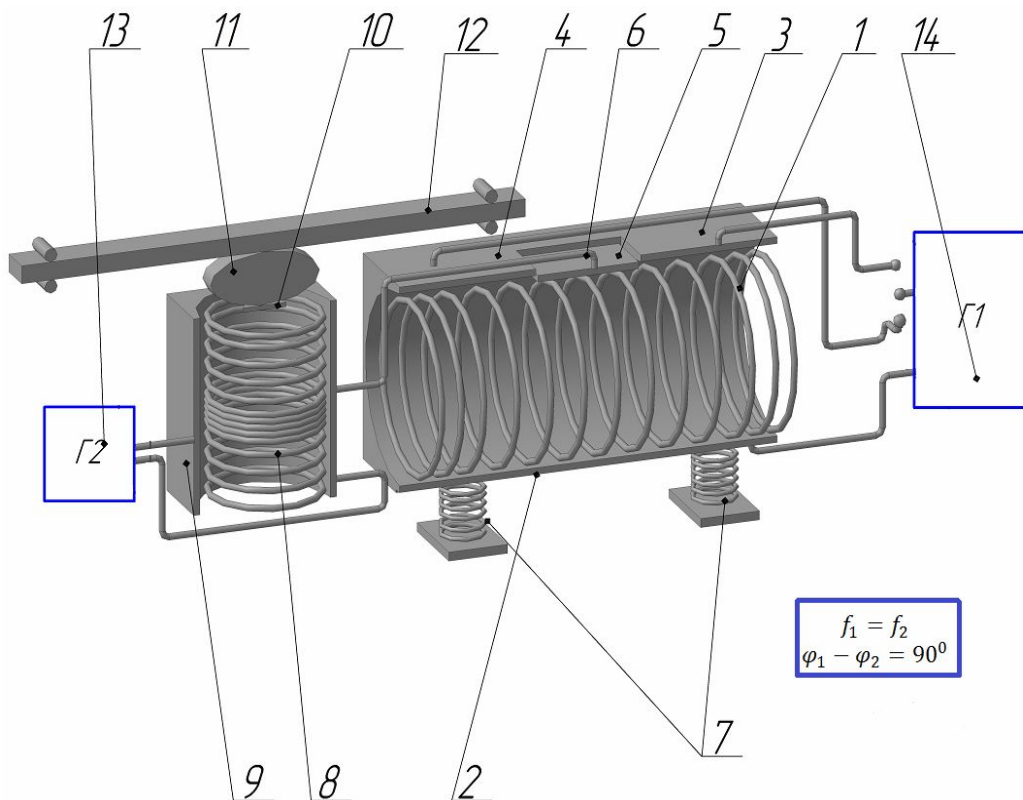


Рис. 3. 3-D модель кінематичної структури: 1 – електрична керована пружина повздовжніх коливань; 2 – загальний електрод керування; 3,4 – електроди збудження другої моди повздовжніх коливань та реверсу; 5 – рухома площа передачі механічних повздовжніх коливань в здовж осі "X" на керовану пружину ортогональних коливань вздовж осі "Y"; 6 – жорсткий елемент з'єднання; 7 – елементи підпружинення всієї системи; 8 – електрична керована пружина ортогональних коливань вздовж осі "Y"; 9 – електроди збудження першої моди повздовжніх коливань по ширині; 10 – контактний елемент формування механічного руху; 11 – наноеліпс траєкторії контактного елемента; 12 – лінійна направляюча; 13,14 – генератори збудження.

Побудова математичної моделі і дослідження резонансних станів

В основу розробки математичної моделі була покладена лінійна теорія деформованого стану п'єзоелектричного резонатору[4]. Результатом даної математичної моделі була тривимірна матриця пружності коливань п'єзоелектричного актюатора. Дана матриця наведена нижче:

$$\begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \\ e_{23} \\ e_{13} \\ D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11}^E & S_{12}^E & S_{13}^E & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & d_{13} \\ S_{12}^E & S_{11}^E & S_{13}^E & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & d_{13} \\ S_{13}^E & S_{13}^E & S_{44}^E & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & d_{44} \\ 0 & 0 & 0 & S_{44}^E & 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{55}^E & 0 & d_{15} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66}^E & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 & \epsilon_{11}^T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 & 0 & 0 & \epsilon_{11}^T & 0 \\ d_{31} & d_{31} & d_{33} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \epsilon_{33}^T \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{13} \\ \sigma_{12} \\ \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \end{pmatrix}$$

де, e_{ij} – п'єзоелектрична константа; D_1, D_2, D_3 – вектори електричного зміщення (індукція), $S_{11}^E, S_{12}^E, S_{13}^E, S_{44}^E, S_{55}^E, S_{66}^E, S_{11}^E$ – пружні податливості, які визначаються при постійному значенні механічних коливань; $d_{31}, d_{33}, d_{15}, d_{13}, d_{44}$ – п'єзоелектричні постійні (п'єзомодулі); σ_{ij} – тензор напруження п'єзокераміки; $\epsilon_{11}^T, \epsilon_{33}^T$ – діелектричні проникності п'єзокераміки, які визначаються при постійному значенні механічних коливань; $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ – тензор деформації п'єзокераміки.

У роботі основними параметрами, які впливають на власні резонансні частоти резонатору були обрані його геометричні розміри (довжина і ширина). Математичне моделювання було проведене при зміні цих параметрів резонатору. Результатом даного моделювання є власні резонансні частоти, що відповідають першій повздовжній моді стоячих акустичних хвиль по ширині і другій повздовжній моді по довжині резонатору. Результат моделювання зображений на рис.4. Було встановлено, що одна з власних частот (1,2) приблизно дорівнює 183 кГц, що могло відповідати першій повздовжній моді стоячих акустичних хвиль по ширині і другій повздовжній моді по довжині резонатору. Частота 3 була наслідком електричного резонансу системи.

Експериментальне вимірювання власних частот п'єзоелектричного резонатору

Експериментальне вимірювання проводилося по спеціально розробленій схемі вимірювання з використанням стандартного генератора ГЗ-109 та необхідного обладнання контролю. Схему та результати експерименту представлена рис. 5 та рис.6. Як видно з рис. 6 власна резонансна частота п'єзоелектричного резонатору з експериментального вимірювання дорівнює 178 кГц. Зробивши порівняння з резонансною частотою, яку було отримано при комп'ютерному експерименті, можна сказати, що вони приблизно є рівними.

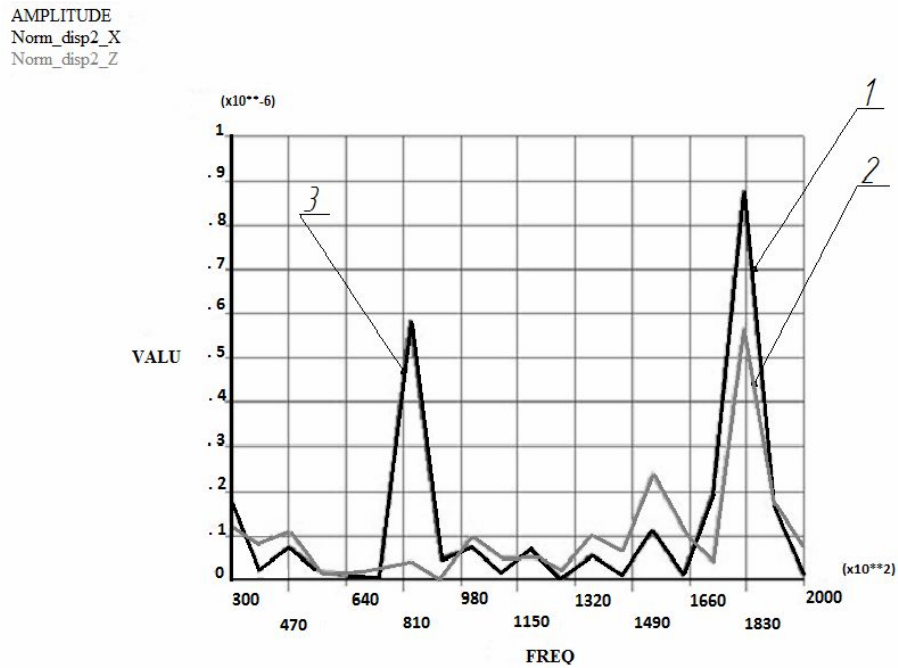


Рис. 4. Результати математичного моделювання (власні резонансні частоти).

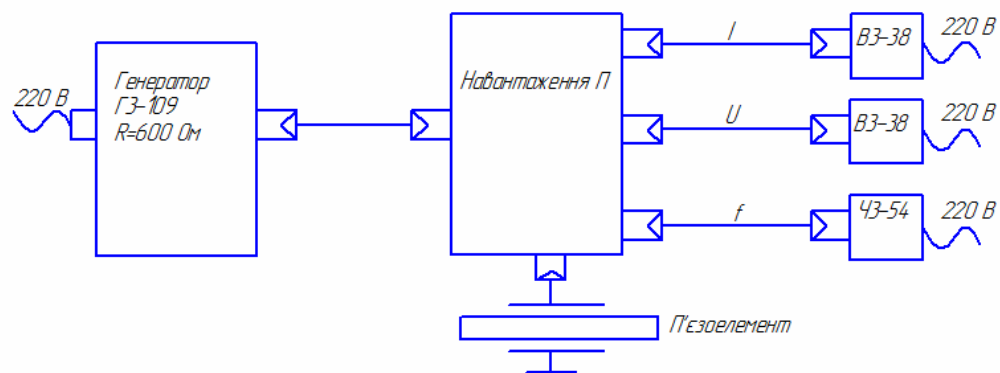


Рис. 5. Схема експериментального вимірювання.

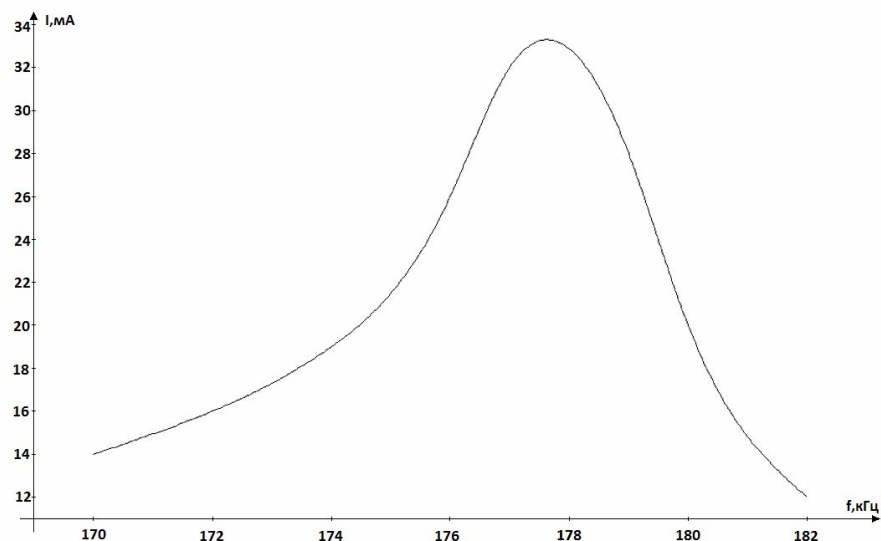


Рис. 6. Результати експериментального вимірювання власних резонансних частот п'єзоелектричного резонатору.

Це свідчить про те, що математичне моделювання було проведене нормально і дана математична модель може бути застосована в подальшій розробці п'єзоелектричного двигуна.

Висновки

Розроблена кінематична структура п'єзоелектричного двигуна. Була створена математична модель. За допомогою неї було проведено моделювання і знайдено власні резонансні частоти, які залежать від геометричних розмірів резонатора. Одержані результати математичного моделювання збігаються з отриманими експериментальними значеннями, що підтверджує достовірність отриманих результатів. Дану модель можна використовувати для наступних досліджень даного двигуна.

Література:

1. Петренко С. Ф. Пьезоэлектрический двигатель в приборостроении / С. Ф. Петренко. – К.: «Корнійчук», 2002 р. – 95 с.
2. Шарапов В. Пьезоэлектрические датчики / В. Шарапов, М. Мусиенко. – М.: Техносфера, 2006. – 623 с.
3. Самарин А. Миниатюрные линейные пьезоэлектрические двигатели // Компоненты и технологии. – 2006. – № 10. – С. 64-70.
4. Гринченко В. Т. Электроупругость / В. Т. Гринченко, А. Ф. Улитко, Н. А. Шульга.-К.: Наукова думка, 1989.- 140 с.

References

1. Petrenko S. F. Piezoelectric motor in instrument making. / S. F. Petrenko. – K.: "Korniychuk", 2002. – 95 p.[rus]
2. Sharapov V. A. Piezoelectric sensors / V. A. Sharapov, M. Musienko. – M.: Technosphere, 2006. – 623 p. [rus]
3. Samarin A. Miniature Linear Piezo Motors / A. Samarin // Elements and tehnologii. – 2006. – № 10. – P. 64–70. [rus]
4. Grinchenko V. T. Electroelasticity / V. T. Grinchenko, A. F. Snails, N. A. Shulga.-K.: Naukova Dumka, 1989. – 140 p. [rus]

С. Ф. Петренко, О. А. Кошевой

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", г. Киев, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ СОСТОЯНИЙ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ

Разработка пьезоэлектрического двигателя начинается с проектирования его пьезоэлектрического резонатора. Раньше для этого создавали большое количество рабочих образцов и проводили на них эксперименты, с целью их оптимизации. Обычно это занимало много времени и ресурсов. На сегодняшний день с развитием технологий все стало намного проще. Создают математические модели и весь нужный анализ проводят на компьютерах при различных условиях и нагрузках. Поэтому, предварительно для создания некой рабочей модели обязательно нужно проводить математический анализ, который дает те результаты, которые совпадают с экспериментальными исследованиями. Для разработки пьезоэлектрического двигателя нужно сначала провести тщательный анализ его пьезоэлектрического элемента, найти собственные частоты, плоскости, которые можно взять, как контактные (для крепле-

ния толкателя), найти параметры смещения этих контактных плоскостей, найти максимум деформации. В результате математического моделирования были найдены частоты при различных геометрических размерах актюатора и сделан сравнительный анализ с экспериментальными результатами.

Ключевые слова: математическая модель, пьезоэлектрический двигатель, математический анализ.

S. F. Petrenko, O. A. Koshovuy

National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

SIMULATION OF RESONANCE STATES PIEZOELECTRIC MOTOR

Development of piezoelectric motor starts with the design of its piezoelectric resonator. Previously, this created a large number of work samples and conducted experiments on them, to their optimization. Usually it took a lot of time and resources. To date all the technology development has become much easier. Created mathematical models and all the necessary analysis conducted on computers with different conditions and loads. Therefore, prior to the creation of any working model is necessary to carry out mathematical analysis, which gives the results that coincide with the experimental research. To develop piezoelectric motor must first conduct a thorough analysis of its piezoelectric element, find its own frequency plane that can be taken as a contact (for attaching the pusher), find the displacement parameters of contact area, find the maximum strain. As a result, mathematical modeling, we found the frequency of various geometric dimensions and actuators made a comparative analysis with experimental results.

Keywords: mathematical model piezoelectric motor, the mathematical analysis.

Надійшла до редакції

2 червня 2011 року

УДК 62.799:628.87

ВПЛИВ МІКРОКЛІМАТУ ВИРОБНИЧОГО ПРИМІЩЕННЯ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГІРОСКОПІЧНИХ ПРИЛАДІВ ПРИ ЇХ СКЛАДАННІ

Антонюк В. С., Мережаний Ю. Г.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, Україна*

Проведено аналіз експлуатаційних характеристик гіроскопічних приладів та виконано експертний аналіз технологічних похибок, на які можуть впливати параметри мікроклімату виробничого приміщення під час процесу їх складання. Виконано математичний аналіз експлуатаційних параметрів гіроскопічних приладів та проведено їх розподіл за ранжиром по ступеню впливу на них технологічного середовища. Запропонована методика аналізу ризиків і критичних контрольних точок (НАССР) для визначення критичних контрольних точок технологічного процесу складання.

Ключові слова: мікроклімат, складання, прецизійність, гіроскопічні прилади, надійність.

Вступ

Постійне підвищення вимог до технічних та експлуатаційних характеристик прецизійних приладів та механізмів вимагає високої точності і стабільності їх характеристик. В більшості випадків причиною відмов приладів є висока інтен-