

УДК 681.5

В.Н. Смолий, д-р техн. наук, доц.,
Технологический институт Восточноевропейского национального
университета им. В. Даля (г. Северодонецк), г. Северодонецк, Украина
dr.Smoliy_V@ukrpost.net

Синтез и исследование критерия компоновки типового элемента замены электронного аппарата

Разработаны критерии компоновки блока электронного аппарата и его составляющих, впервые системно учитывающие механические, резонансные и компоновочные характеристики. Исследование критериев методом Парето позволило получить оптимальные сценарии достижения необходимых свойств, параметров и компоновки непосредственно у объекта конструкторской подготовки производства.

Ключевые слова: электронный аппарат, конструкторская подготовка производства, типовой элемент замены, критерий компоновки, сценарии управления, вибрационная устойчивость, резонансная устойчивость, параметры элементов, компоновка.

Введение

Процесс обеспечения оптимальных параметров, свойств и компоновки производимого электронного аппарата предполагает формирование методов управления, базирующихся на паретовских компромиссах, образующих последовательность и содержание выполняемых в ходе управления конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов операций [1]. В зависимости от методов управления необходимо сформировать критерии управления конструкторской подготовкой производства и компоновкой производимых электронных аппаратов, имеющих аддитивный вид [2], составляющих материал для стохастических статистических выборок, на основании которых строится система поддержки принятия решений конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов [3].

Целью исследования является разработка критериев компоновки электронных аппаратов и их элементов.

Задачей исследования является синтез и исследование критерия компоновки типового элемента замены электронного аппарата.

Основные определения и общие положения

В процессе конструкторской подготовки производства электронного аппарата производят исследование влияния типоразмера печатной платы, размещения электрорадиоэлементов, способа закрепления и ориентации монтажных плат в блоке электронного аппарата на механические характеристики электронного аппарата.

Из технического задания на проектирование блока электронного аппарата, составленного на этапе конструкторской подготовки производства на модели блока электронного аппарата определяются собственные частоты для первых трех форм колебаний [4], т.е. частоты, которые создают наибольшие перегрузки. Формы колебаний типового элемента замены, соответствующие этим собственным частотам изображены на рис. 1

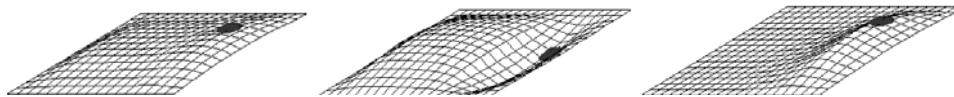


Рисунок 1 – Формы колебаний типового элемента замены

Изменяя место расположения электрорадиоэлемента на печатной плате, манипулируя параметрами выводов и вариантами крепления элемента к плате, возможно добиться снижения амплитуд колебаний платы в исследуемой точке, то есть предложить управляющие воздействия по компоновке блока электронного аппарата, повышающие виброустойчивость и надежность изготавливаемого электронного аппарата.

Наиболее сложным является случай, когда внешнее воздействие представляет собой случайный процесс, захватывающий полосу частот от единиц до тысяч Гц. Отстроиться от резонансных частот путем вариации типоразмера плат не удастся, и в этом случае применяют печатные платы с вибропоглощающим слоем и оценивают возможности виброизоляции типового элемента замены или электронного аппарата в целом. Кроме

того, зная параметри вібраційного впливу, оцінюють можливість резонансної раскочки плати з наступним порівнянням з допустимою величиною амплітуди коливань. Якщо час знаходження резонансної складової випадкового процесу в околицях власної частоти друкованої плати невеликий, то небезпечного режиму роботи елемента не буде, так як друкована плата не «успіє» раскочитися. Якщо резонансних явищ уникнути неможливо, то доцільно з'ясувати, яка форма коливань буде присутня, і оцінити області максимальної навантаження плати з метою раціонального розміщення на ній електронних елементів.

Суть раціонального розміщення полягає в тому, що найбільш надійні елементи розміщувати в найбільш вібронавантажених ділянках друкованої плати. Цим досягаються «рівнонадійності» друкованої плати. Отримані результати дозволяють здійснити вибір попереднього варіанта конструкції типового елемента заміни електронного апарату, яка в наступному може уточнюватися і коректуватися.

Вибираючи способи захисту електронного апарату від механічних впливів, необхідно аналізувати найбільш поширені способи, направлені на зменшення або усунення резонансних коливань. Так, при низькочастотних зовнішніх впливах широко розповсюджений спосіб, що полягає в зсуві спектра власних частот коливань конструкції за верхню межу діапазону частот збуджуючих впливів. Для повного усунення

резонансних коливань необхідно, щоб власна частота коливань досліджуваного об'єкта була не менше ніж на октаву вище максимальної частоти збуджуючих коливань. Практично це досягають зміною способів кріплення друкованої плати в типовому елементі заміни або типового елемента заміни в блоці електронного апарату і застосуванням додаткових опор і ребер жорсткості.

Спосіб, оснований на підвищенні жорсткості конструкції, доцільно застосовувати, коли діапазон діючих вібрацій не перевищує 400-500 Гц або коли достатньо знизити резонансні коливання на певну, іноді не дуже велику величину. Підвищення жорсткості елементів конструкції електронного апарату необхідно для зміщення власних частот коливань друкованої плати або типового елемента заміни в більш високочастотну область. Вплив на спектр власних частот коливань можна змінити зміною геометричних розмірів друкованої плати, способів їх кріплення в типовому елементі заміни, вибором матеріалу і конфігурації друкованих плат. Найбільше застосування в нинішній час знаходить зміна способів кріплення, площі і товщини друкованої плати, а також застосування конструктивних додаткових елементів, що підвищують жорсткість. На рис. 2, а і рис. 2, б наведені амплітудно-частотні характеристики друкованої плати, отримані за допомогою розробленого програмно-технічного комплексу математичного моделювання механічних навантажень типового елемента заміни електронного апарату [2, 4].

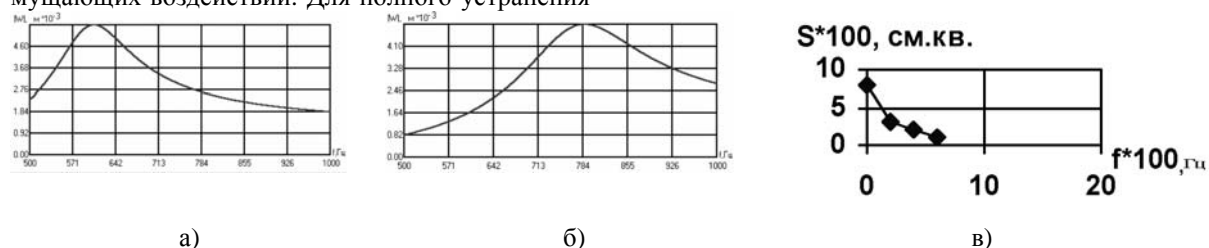


Рисунок 2 – Вплив площі друкованої плати на її власні частоти

При зменшенні площі друкованої плати з 130 см^2 (рис. 2, а) до 110 см^2 (рис. 2, б), частота власних коливань збільшується з 600 до 780 Гц.

Обобщаючи отримані результати, отримуємо загальну тенденцію впливу площі друкованої плати на власні частоти друкованої плати, наведену на рис. 2, в.

Застосуємо розроблений програмно-технічний комплекс математичного моделювання механічних навантажень типового елемента заміни електронного апарату для дослідження впливу товщини друкованої плати на її власні частоти.

Результати в формі амплітудно-частотних характеристик досліджуваних друкованих плат наведені на рис. 3, а і рис. 3, б. Збільшення товщини друкованої плати в 3 рази з 1,5 мм (рис. 3, а) до 4,5 мм (рис. 3, б), збільшує власну частоту не менше ніж в 3,5 рази. Обобщаючи отримані результати, отримуємо загальну тенденцію впливу товщини друкованої плати на її відносні власні частоти, яка наведена на рис. 3, в. На рисунку f_0 і H_0 - початкові значення власної частоти і товщини друкованої плати. З рис. 3, в видно, що збільшення товщини друкованої плати суттєво підвищує власну частоту.

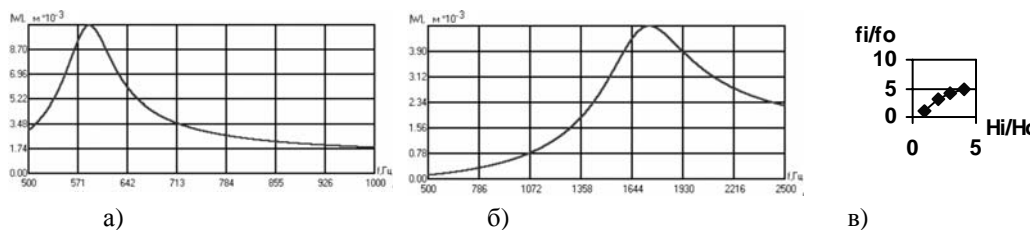


Рисунок 3 – Влияние толщины печатной платы на ее собственные частоты

С помощью разработанного программно-технического комплекса математического моделирования механических нагрузок типового элемента замены электронного аппарата исследуем влияние способа крепления печатной платы в типовом элементе замены на механические характеристики электронного аппарата. Изменение свободного опирания на жесткое защемление увели-

чивает собственную частоту колебаний примерно в 1,8 раза. Рассмотрим два варианта закрепления краев печатной платы в типовом элементе замены: все края печатной платы шарнирно закреплены (рис. 4, а) и два края печатной платы шарнирно закреплены, два жестко защемлены (рис. 4, б).

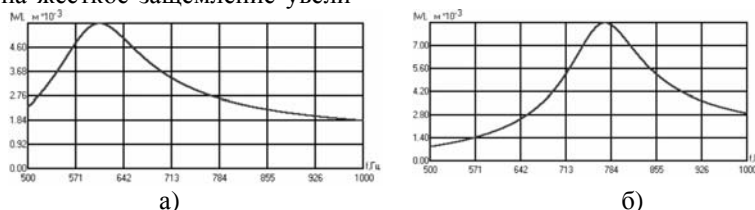


Рисунок 4 – Амплитудно-частотные характеристики печатной платы с различными вариантами закрепления краев в типовом элементе замены

Анализируя полученные зависимости, делаем вывод, что жесткое закрепление двух краев печатной платы приводит к увеличению собственной частоты в 1,3 раза. Повышение жесткости элементов конструкции электронного аппарата ведет к смещению спектра собственных частот колебаний в более высокочастотную область, что является одним из конструктивных способов защиты электронного аппарата от механических воздействий.

Синтез и исследование критерия компоновки типового элемента замены электронного аппарата

Выбираем в качестве элементов критерия компоновки типового элемента замены электронного аппарата параметры и функции, определенные с помощью разработанного программно-технического комплекса для моделирования механических нагрузок типового элемента замены электронного аппарата и выявленные в ходе экспериментальных исследований [1 - 3]. К ним отнесены: амплитудно-частотные характеристики и формы колебаний электрорадиоэлементов, печатных плат и типовых элементов замены, наличие и параметры эффекта резонансного взаимодействия электрорадиоэлементов с печатной платой, амплитудно-частотные характеристики и формы колебаний типового элемента замены для различ-

ных вариантов закрепления печатной платы в типовом элементе замены (см. рис. 1 - 4). Дополнительно по варианту компоновки типового элемента замены необходимо рассчитать коэффициенты: активной площади элемента, соответствия физических и установочных параметров друг другу, автономности активного параметра, использования площади платы, конструктивного совершенства изделия [2, 4].

Для получения критерия компоновки блока электронного аппарата [4], получаем систему весовых коэффициентов W_i и проранжируем по ней множество решений из области Парето, позволяющее получить компромиссный вариант, сбалансированный по противоречивости относительно совокупности частных критериев Φ_i показателей свойств исследуемого объекта. Точками Парето являются точки пространства решений $x_n \in X$, для которых выполняется условие

$$\Phi(x_n) = \sum_{i=1}^m W_i \Phi_i(x_n) \leq \Phi(X). \tag{1}$$

Таким образом, точки области Парето представляют собой перспективные варианты решения. Для существования области Парето, т.е. для $x_n \in X$, необходимо, чтобы существовало также множество весов $W = (W_1, \dots, W_m)$, $W_i > 0$:

$$\sum_{i=1}^m W_i \frac{\partial \Phi_i}{\partial x_n} = 0, \tag{2}$$

т.е. $grad(\sum W_i \Phi_i) = 0$, (3)

что позволяет сформулировать комплексную целевую функцию

$$\Phi = \sum_{i=1}^m W_i \Phi_i \quad (4)$$

и максимизировать ее в процессе поиска решений для получения точек множества Парето $x_n \in X$.

Задачу максимизации (4) сформулируем как задачу минимизации функционала в пространстве частных критериев $\Phi \in Q$

$$\pi = W' \Phi, \quad (5)$$

где Q – область допустимых или реализуемых решений.

При этом определяется точка $\Phi \in Q$ так, что ее проекция на W является наибольшей среди всех $\Phi \in Q$. В этом случае $\Phi(x_n)$ лежит на границе Q и функционал π определяет плоскость касательную в точке Парето x_n и поддерживающую область Q .

Для рассматриваемого случая, когда частные критерии не могут быть оптимизированы по одним и тем же параметрам объекта, вводим в рассмотрение аддитивный комплексный показатель

$$W(\Phi) = \sum_{k=1}^m W_k \Phi'_k, \quad W_k > 1, \quad \sum_{k=1}^m W_k = 1, \quad (6)$$

где Φ'_k – нормированный показатель, определяемый выражениями

$$\Phi'_k = \frac{\Phi_{k \max} - \Phi_k}{\Phi_{k \max} - \Phi_{k \min}}, \quad (7)$$

или $\Phi'_k = \frac{\Phi_k - \Phi_{k \min}}{\Phi_{k \max} - \Phi_{k \min}}. \quad (8)$

С целью устранения возможности компенсации снижения качества по одному частному

Таблица 2. Варьируемые параметры объекта

№ итерации	Варьируемые параметры									
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
1	1	1	1	1	1	1	0.3	1000	0.6	1000
2	1	1	1	1						
3	1		1	1	1	1	0.3	1000	0.6	1000
4	1		1	1						
5	1	1			1	1	0.3	1000	0.6	1000
6	1	1								
7					1	1	0.3	1000	0.6	1000
8										

Для табл. 2 $x_1 - x_{10}$ представляют собой компоненты критерия компоновки блока электронного аппарата, вида: собственные частоты блока электронного аппарата, амплитудно-

критерию повышением качества по другому (при выполнении функции разностороннего анализа) для сравнения вариантов решения используем следующий комплексный критерий

$$W(\Phi) = \sqrt{\sum_{k=1}^m W_k^2 \left(\frac{\Phi_{k \max} - 1}{\Phi_k} \right)^2}, \quad (9)$$

если $\Phi_k \rightarrow \max$.

Применение (9) обеспечивает предпочтительный выбор таких вариантов компоновки электронного аппарата, при которых значения частных критериев располагаются ближе к некоторому идеальному вектору $(\Phi_{1 \max}, \dots, \Phi_{k \max})$ при $\Phi_k \rightarrow \max$. При этом отклонение от идеального решения определяется как относительное и взвешенное.

В качестве частных критериев объекта примем критерии, сведенные в табл. 1.

Таблица 1. Частные критерии компоновки блока электронного аппарата

№ п/п	Обозначение	Смысл
1	Φ_1	Устойчивость к механическим воздействиям блока электронного аппарата
2	Φ_2	Рациональность подбора типа амортизаторов и вида СВИ
3	Φ_3	Рациональность компоновки блока электронного аппарата

К варьируемым параметрам объекта отнесем компоненты критерия компоновки блока электронного аппарата значения которых сведены в табл. 2.

частотные характеристики для различных видов систем виброизоляции блока и др.

Анализируя табл. 2 получаем, что рациональность компоновки блока электронного аппа-

рата необходимо заменить некоторым комплексным критерием качества. В результате такой замены столбцы $x_5 - x_{10}$ табл. 2 заменяем одним столбцом, содержащим значение 1 для случая необходимости обеспечения рациональной компоновки блока электронного аппарата и значением 0 в противном случае.

Формирование непосредственно функционала критерия компоновки блока электронного аппарата осуществим путем линейной комбинации вероятностей появления каждого из случаев необходимости обеспечения устойчивости к вибрационным воздействиям блока электронного аппарата и его составляющих и выполнения требования оптимальности компоновки блока электронного аппарата.

В результате критерий компоновки имеет вид

$$f_2(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = 0.25x_1 + 0.13x_2 + 0.25x_3 + 0.2x_4 + 0.17x_5. \quad (10)$$

Наличие нескольких слагаемых с одинаковыми коэффициентами показывает единство причин появления факторов нарушения функционирования электронных аппаратов и его составляющих в условиях эксплуатации и противоречивость требований выполнения рациональности компоновки блока электронного аппарата. На практике может появиться либо один из анализируемых факторов (табл. 2), либо все, либо их комбинация, что и учитывается видом предложенного критерия компоновки.

Таблица 3. Определение вектора весов для аддитивного критерия качества

№ итерации	Значение функционала	Веса			Частные критерии		
		W_1	W_2	W_3	Φ_1	Φ_2	Φ_3
...
3	172.000107	98	0.00001	17	1	0	1
...
6	149.999987	0.000001	40	0.000001	0	1	0
...

Выбрав из табл. 3 вариант, соответствующий максимуму критерия компоновки блока электронного аппарата, получим случай 3, когда необходимо анализировать собственные частоты блока электронного аппарата, его частотные характеристики, одновременно обеспечивая рациональность компоновки блока электронного аппарата. Этот вариант соответствует практике обеспечения устойчивости блока электронного аппарата к механическим, вибрационным и ударным воздействиям, с тем отличием, что это выполнялось высококвалифицированными экспертами при доводке изделия после отбраковки на испытаниях. Предложенный критерий компоновки блока электронного аппарата позволяет систематизировать решение задачи обеспечения устойчивости объекта к внешним воздействиям и

Ограничения, накладываемые на функционал управления, связаны со стоимостью обнаружения и устранения каждого из анализируемых явлений и суммарной стоимостью обеспечения требуемых параметров изделия на ограниченном наборе управляющих воздействий, направленных на компоновку объекта.

Вид ограничений, накладываемых на функционал управления следующий:

$$0,19x_1 + 0,14x_2 + 0,27x_3 + 0,23x_4 + 0,17x_5 \leq 0,35. \quad (11)$$

Имеем задачу максимизации, так как ищем случай, удовлетворяющий требованиям обеспечения максимальной устойчивости блока электронного аппарата к механическим и вибрационным воздействиям, происходящий одновременно с обеспечением требования наилучшей компоновки самого блока, анализируемые с точки зрения частоты встречаемости тех или иных факторов, вредно влияющих на компоновку блока электронного аппарата. Из всех возможных вариантов компоновки электронного аппарата предложенный критерий компоновки выбирает на первом этапе оптимальные по частоте встречаемости компоненты, а на втором этапе определяет оптимальные по стоимости обнаружения и стоимости устранения компоненты. Результаты выполнения процедуры определения вектора весов для аддитивного критерия качества сведены в табл. 3.

включить анализ поведения блока в условиях эксплуатации в существующий процесс его производства.

Выбор критерия компоновки блока электронного аппарата повлечет за собой изменения в программах управления: станками сверловки; станками с числовым программным управлением для установки электрорадиоэлементов и печатных плат на типовой элемент замены для генераторных плат; станками штамповки заготовок печатных плат; гибких производственных модулей автоматизированной складской системы; станками штамповки деталей корпуса; картами прокладки шлейфовых соединений сборщиками; подбором виброизоляторов; участком выполнения сборочных операций.

По результатам создания и исследования критерия компоновки электронного аппарата методом Парето получены сценарии достижения оптимальных параметров и компоновки производимого изделия. Составленные функционалы и их ограничения являются элементами баз знаний по получению набора рекомендаций и множества правил системы поддержки принятия решений.

Заключення

Предложенные критерии компоновки электронного аппарата и его составляющих позволяют систематизировать решение задачи обеспечения устойчивости объекта к внешним воздействиям и включить анализ поведения блока в условиях эксплуатации в управление конструкторской подготовкой производства электронного аппарата.

Научная новизна работы заключается в том, что разработанные критерии компоновки блока электронного аппарата и его составляющих впервые системно учитывают механические, резонансные и компоновочные характеристики.

Практическая значимость предложенных критериев заключается в получении оптимальных сценариев достижения необходимых свойств, параметров и компоновки непосредственно у объекта конструкторской подготовки производства.

Дальнейшее направление исследований связано с разработкой системы поддержки принятия решений конструкторской подготовки производства электронных аппаратов, реализующей методы управления на основе предложенных критериев компоновки электронного аппарата и составляющих.

Список использованной литературы

1. Смолий В.Н. Управление производством сложноорганизованных технологических объектов / В.Н. Смолий // Вісник СХУ ім.В.Даля. – 2009. – № 2 (132). – Ч.2. – С. 46 – 55.
2. Смолий В.Н. Исследование эффективности управления процесса производства электронных аппаратов / В.Н. Смолий // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – 2010. – Вип. 39. – С. 174 - 178.
3. Смолий В.Н. Особенности концепции управления производством электронных аппаратов / В.Н. Смолий // Вісник СХУ ім.В.Даля. – 2010. – № 2 (144). – С. 128 - 133.
4. Ulshin V. Automated management by designer preparation of production of electronic vehicles / Vitaly Ulshin, Victoria Smoliy // ТЕКА Ком. Mot. I Energ. Roln. – OL PAN, 2011. – 11A. – P. 276 – 281.
5. Ульшин В.А. Функции лица, принимающего решение, при управлении производством электронных аппаратов / В.А. Ульшин, В.Н. Смолий // Вісник СХУ ім.В.Даля. – 2011. – № 3 (157). – С. 214 - 220.

Надійшла до редколегії 27.03.2012

В.М. СМОЛІЙ

Технологічний інститут Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Северодонецьк)

СИНТЕЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ КРИТЕРІЮ КОМПОНОВКИ ТИПОВОГО ЕЛЕМЕНТУ ЗАМІНИ ЕЛЕКТРОННОГО АПАРАТУ

Розроблені критерії компоновки блоку електронного апарату і його складових, які вперше системно враховують механічні, резонансні і компоновальні характеристики. Дослідження критеріїв методом Парето дозволило одержати оптимальні сценарії досягнення необхідних властивостей, параметрів і компоновки безпосередньо у об'єкта конструкторської підготовки виробництва.

Ключові слова: електронний апарат, конструкторська підготовка виробництва, типовий елемент заміни, критерій компоновки, сценарій управління, вібраційна стійкість, резонансна стійкість, параметри елементів, компоновка.

V.N. SMOLIY

Technological institute of Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University (Severodonetsk)

SYNTHESIS AND RESEARCH OF CRITERION OF ARRANGEMENT OF MODEL ELEMENT OF REPLACEMENT OF ELECTRONIC VEHICLE

The criteria of arrangement of block of electronic vehicle are developed and him constituents, first system taking into account mechanical, resonances and arrangements descriptions. Research of criteria allowed to get the optimum scenarios of achievement of necessary properties parameters and arrangement the method of Pareto directly at the object of designer preparation of production.

Keywords: electronic vehicle, designer preparation of production, model element of replacement, criterion of arrangement, management scenarios, vibration stability, resonance stability, parameters of elements, arrangement.