

Экспериментальная идентификация математической модели роторной системы для решения задач вибродиагностики



¹Семенов С.В., ¹Нихамкин М.Ш., ¹Саженов Н.А., ¹Балакирев А.А.

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, кафедра «Авиационные двигатели»

Аннотация

Усложнение конструкции роторных систем приводит к необходимости применения более сложных математических моделей, идентификация которых по результатам только стендовых испытаний зачастую затруднена. В работе предложен метод поэлементной идентификации роторных систем, заключающийся в разбиении модели на субструктуры с последующей их идентификацией по модальным характеристикам. Предложенная методика продемонстрирована на примере модельной роторной установки с гибким диском, имеющим неосесимметричные формы колебаний в рабочем диапазоне частот. По результатам определения модальных характеристик предложена методика уточнения математической модели гибкого диска с помощью изменения его модуля упругости.

Создание суперэлемента

В качестве суперэлемента был выбран гибкий диск. Трехмерная конечно-элементная модель субструктуры гибкого диска представлена на рисунке 3. Конечно-элементная модель состоит из 4700 гексаэдров второго порядка (33840 узлов). Начальные параметры материала: $\rho=7450 \text{ кг/м}^3$, $E=2,1 \cdot 10^{11} \text{ Па}$. С помощью модального анализа в диапазоне от 0 до 250 Гц были определены 5 собственных форм колебаний (без учета парных).

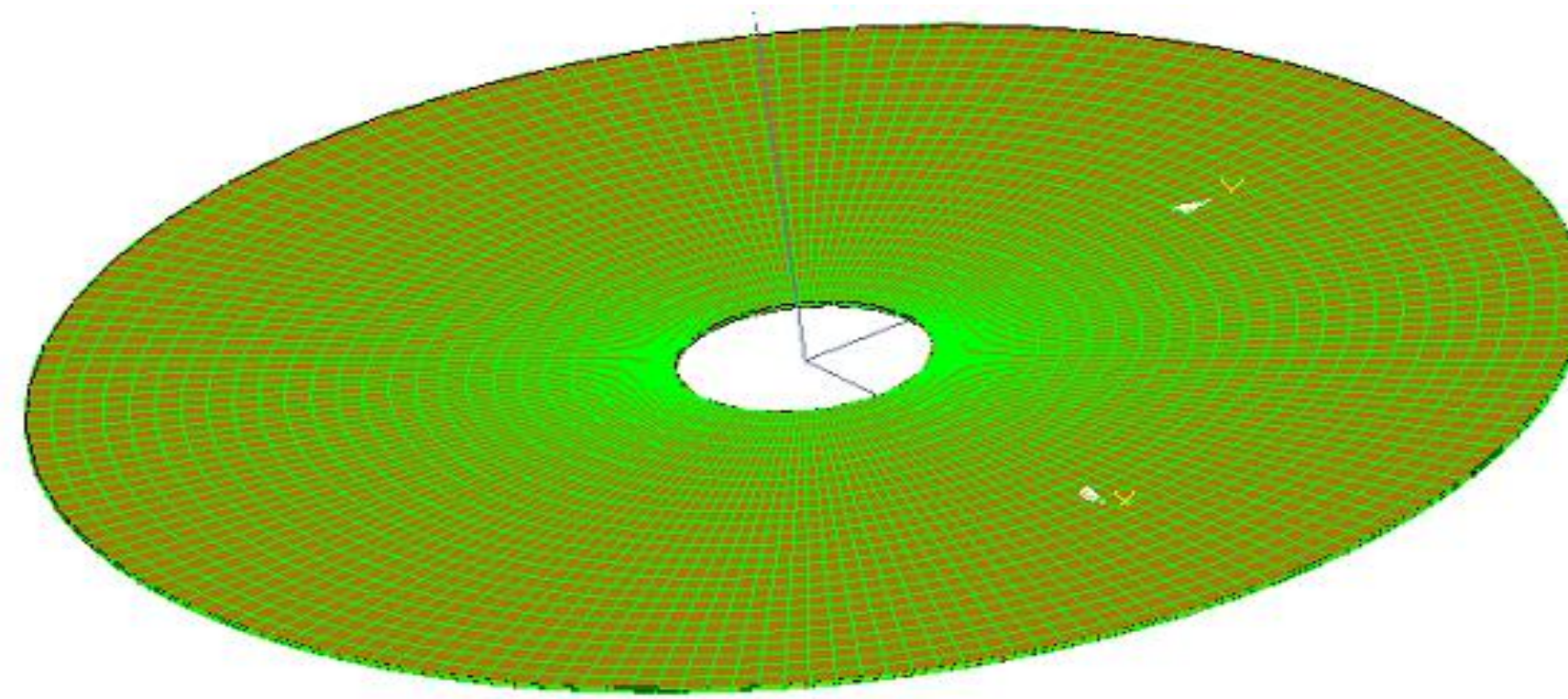


Рисунок 3. Конечно-элементная модель гибкого диска

$$MAC_{ij} = \frac{|\{\psi_i^{эксн}\} \cdot \{\psi_j^{расч}\}^T|^2}{(\{\psi_i^{эксн}\} \cdot \{\psi_i^{эксн}\}^T) \cdot (\{\psi_j^{расч}\} \cdot \{\psi_j^{расч}\}^T)}$$

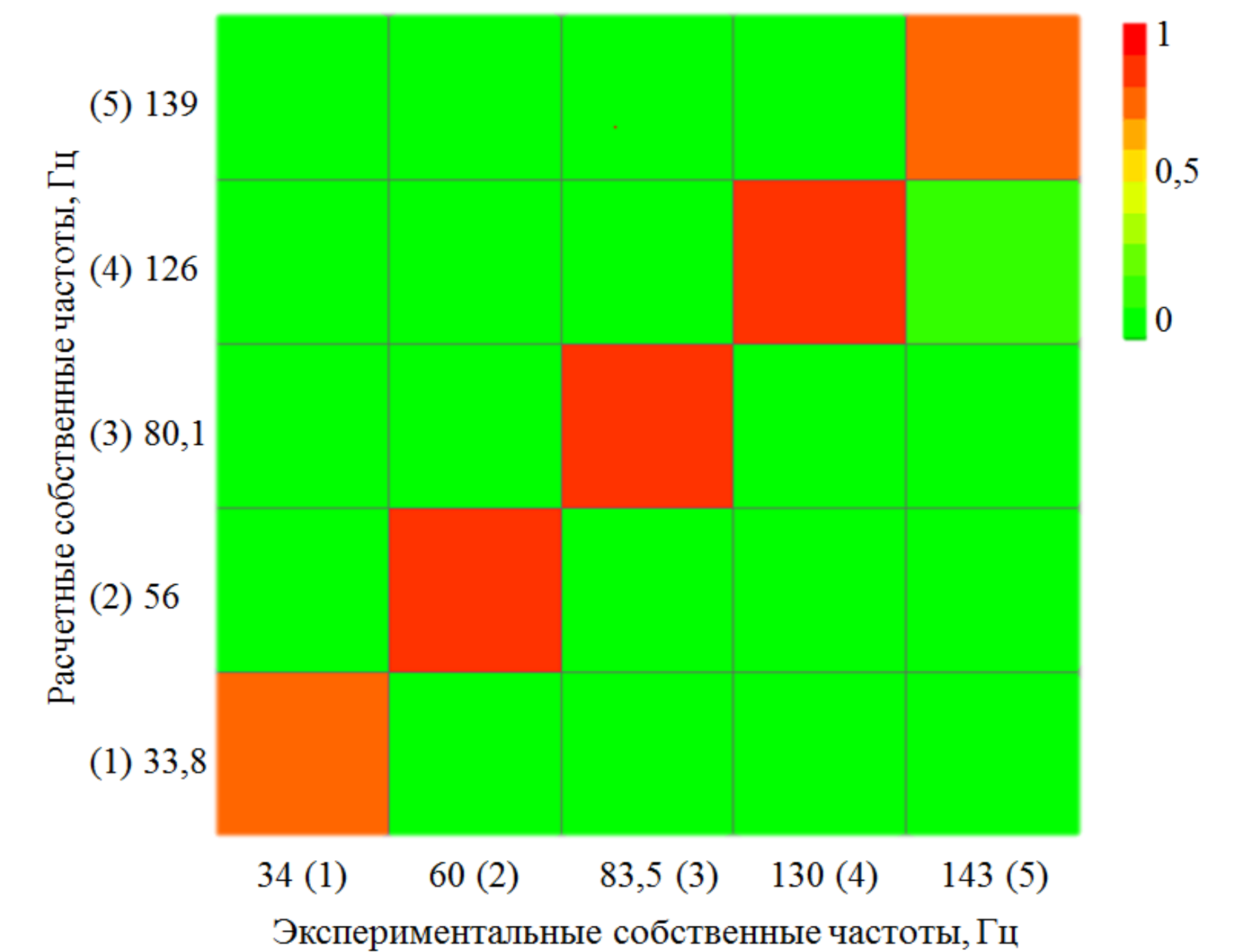


Рисунок 5. MAC- матрица для собственных частот диска, полученных расчетным и экспериментальным способами

Методика моделирования

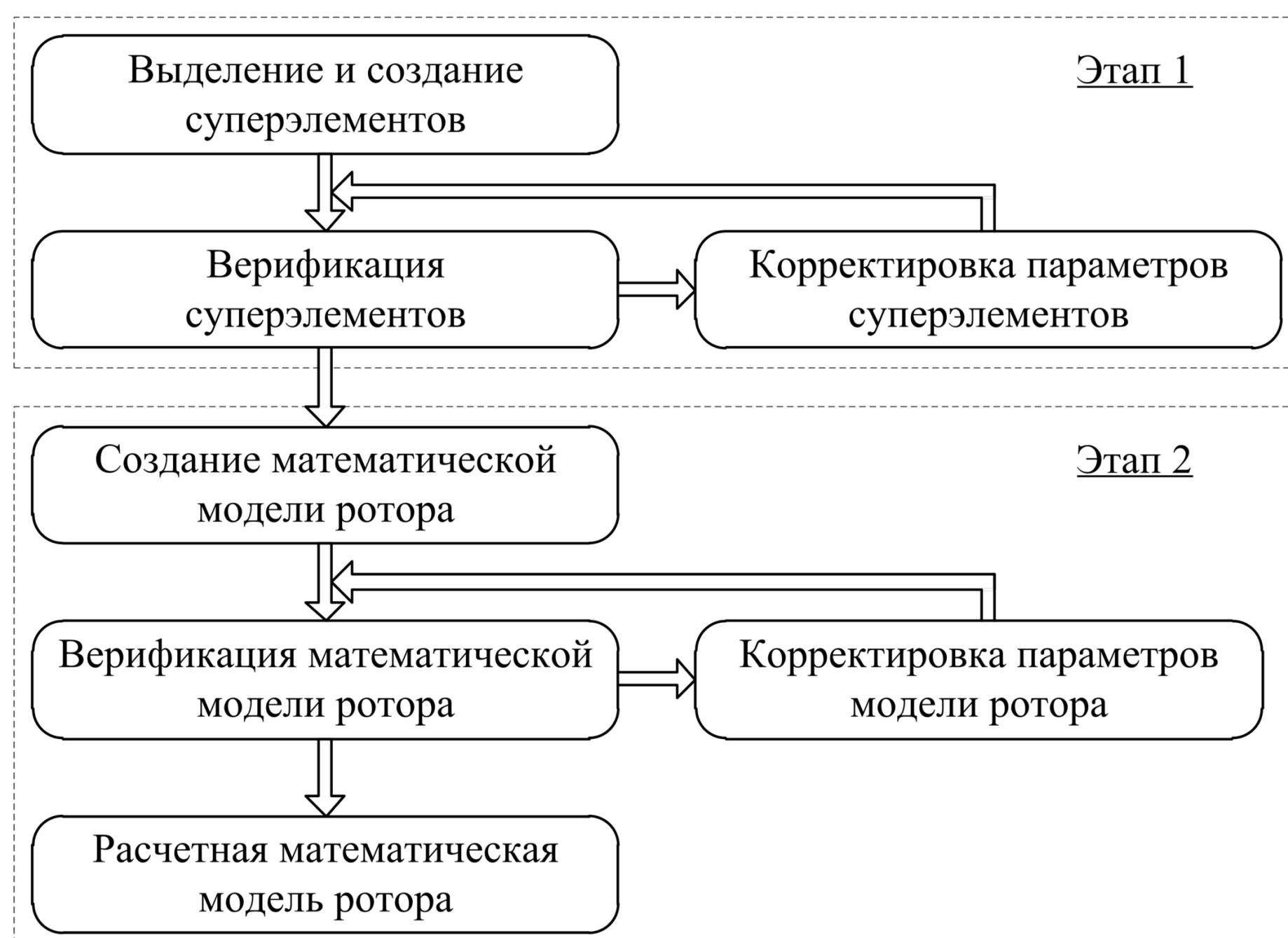


Рисунок 1. Методика создания математической модели роторной системы, подразумевающая использование предварительно верифицированных субструктур

Экспериментальная установка

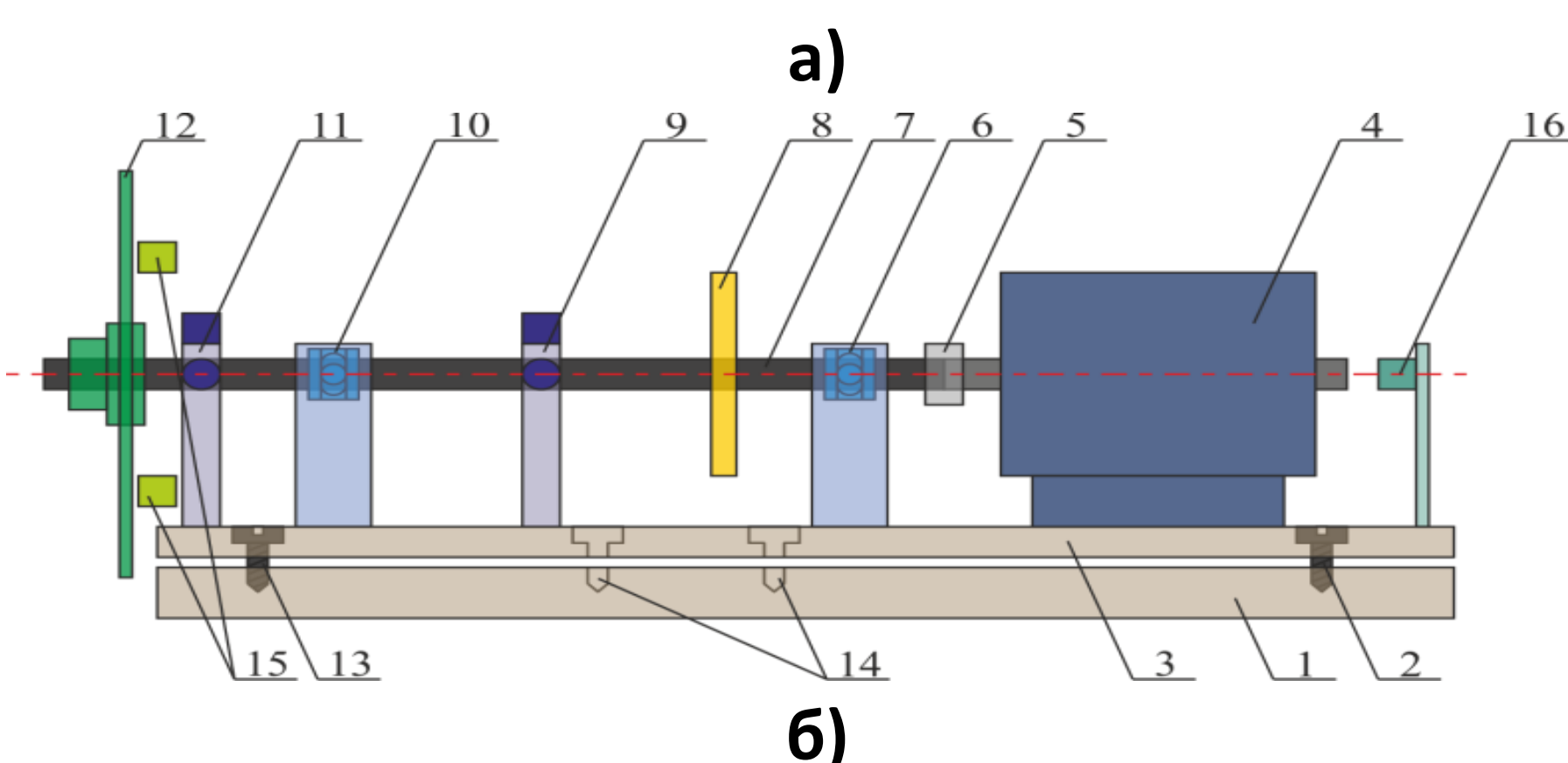
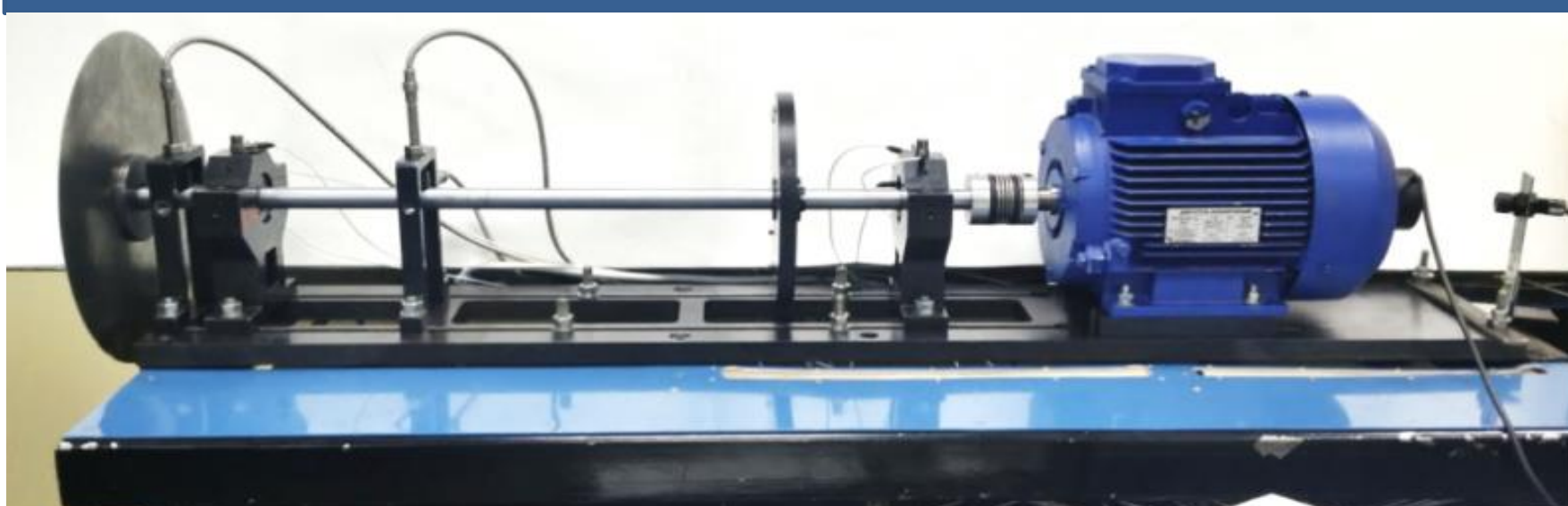


Рисунок 2. Общий вид (а) и схема (б) экспериментальной роторной установки: 1 – рама, 2 – болтовое крепление, 3 – основание, 4 – электродвигатель привода вала НД, 5 – упругая муфта, 6, 10 – корпуса опор ротора НД, 7 – вал НД, 8 – нагрузочный диск ротора НД, 9, 11 – скобы держатели с вихретоковыми датчиками, 12 – диск, 13 – болтовое крепление, 14 – болтовое крепление, 15 – датчики, регистрирующие виброперемещения диска, 16 – лазерный тахометр. Рабочий диапазон вращения – 0-6000 об/мин.

Экспериментальная верификация суперэлементов

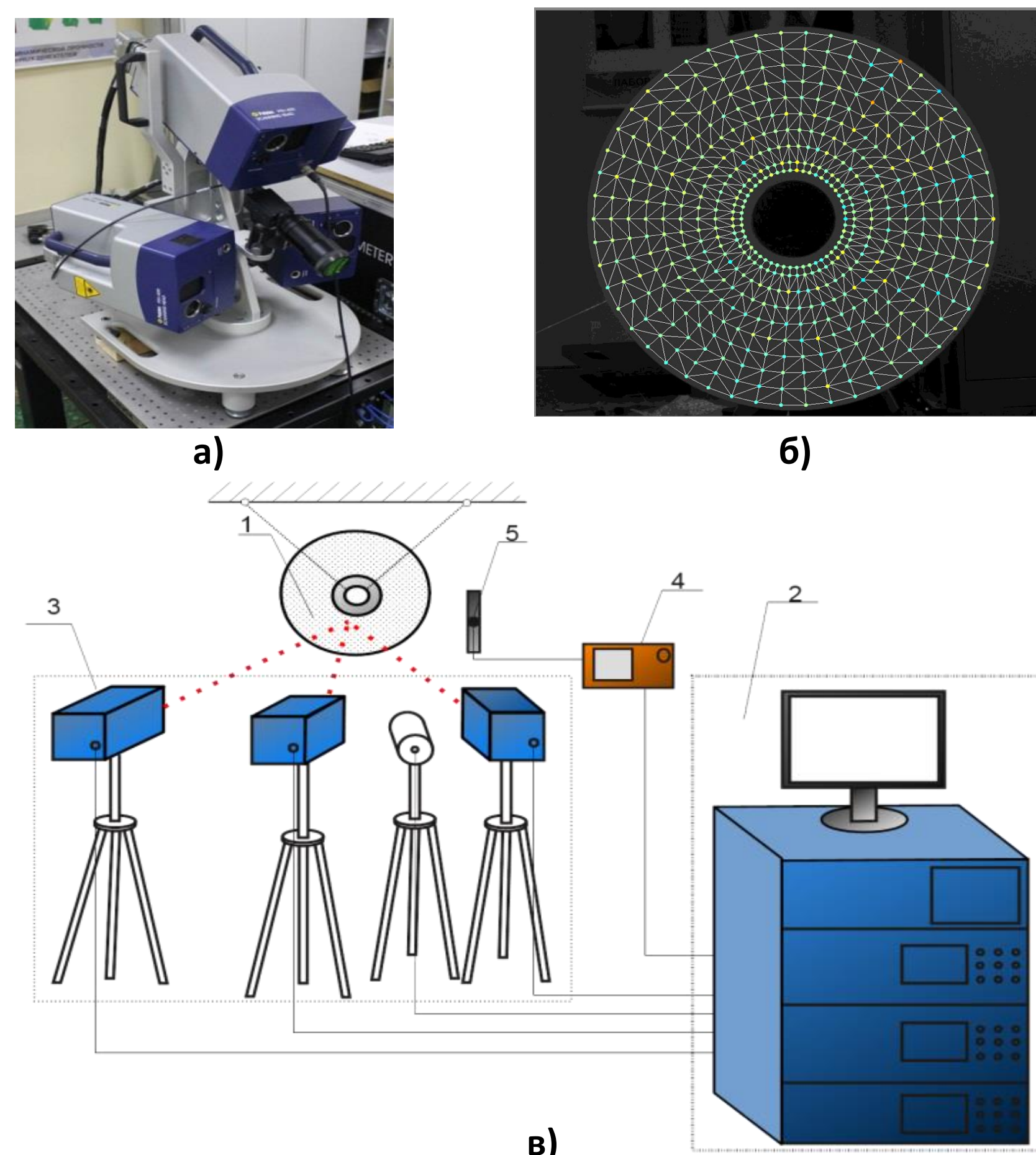


Рисунок 4. Экспериментальный модальный анализ гибкого диска с помощью трехкомпонентного сканирующего виброметра (а – лазерные головки виброметра, б – сетка сканирования, в – схема экспериментальной установки (1– объект исследования, 2,3 – трехкомпонентный сканирующий виброметр и его система управления, 4 – усилитель, 5 – акустический возбудитель)

Для исключения влияния жесткости крепления, в качестве граничных условий при расчете использовались свободные граничные условия, которые были реализованы в эксперименте с помощью эластичного подвеса. Сетка сканирования состояла из 500 узлов. Разрешение – 0.5 Гц. В результате экспериментального модального анализа были определены первые пять собственных частот диска (до 250 Гц) и сопоставлены с частотами, полученными расчетным способом. Сравнение форм колебаний осуществлялось с помощью MAC-критерия

Экспериментальная идентификация модели суперэлемента

Собственные частоты диска, полученные экспериментальным и расчетным способом

Ф м – о количество р узловых м окружностей, а n – # количество узловых диаметров	Час тота та экс расче тная ие, Гц ($E=2,1 \cdot 10^{11}$ Па)	Часто рас хож ден я после подстрой ние, % ($E=2,2 \cdot 10^{11}$ Па)	Частота расчетна я после подстрой ние, % ($E=2,2 \cdot 10^{11}$ Па)	Расх ожд ение
1 m=0; n=2	34 33,8	0,59	34,6	1,76
2 m=1; n=0	60 56	6,67	57	5,00
3 m=0; n=3	83,5 80	4,19	81,6	2,28
4 m=2; n=1	130 126	3,08	133	2,31
5 m=0; n=4	143 139	2,80	143	0,00

Выводы

В работе предложена методика поэлементной идентификации таких моделей, заключающаяся в разбиении модели на субструктуры и последующей их идентификации по модальным характеристикам. Методика продемонстрирована на примере идентификации гибкого диска, создающего неосесимметричные формы колебаний в рабочем диапазоне частот модельной установки. Модальные характеристики диска определены с помощью конечно-элементного расчета и экспериментального модального анализа, осуществленного с помощью лазерной виброметрии. По результатам определения модальных характеристик предложена методика уточнения математической модели гибкого диска с помощью изменения его модуля упругости. Предложенная методика может использоваться для уточнения математических моделей роторных систем, в том числе и применяющихся для диагностики опасных вибрационных явлений.