

УДК 62-218.2

ОПТИМИЗАЦИЯ ОБЪЕМА ФУНДАМЕНТА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА БЕЗ ПОТЕРИ ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.Дмитрий Александрович Пучков⁽¹⁾*Студент 4 курса⁽¹⁾, специалитет⁽²⁾,**кафедра «Металлорежущие станки и оборудование»**Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э. Баумана**Научный руководитель: А.Г. Ягопольский,**старший преподаватель кафедры «Металлорежущие станки и оборудование»*

Современный этап развития станкостроения характеризуется резким повышением требований к динамической жесткости и виброустойчивости технологического оборудования. В условиях перехода к высокоскоростной обработке (ВСО) и жестким допускам на нанометровом уровне, роль опорных конструкций претерпевает изменения. Таким образом, возникает инженерная дилемма: как снизить материалоемкость фундамента, не потеряв при этом его жесткостные характеристики и не превысив несущую способность грунта.

В рамках данной работы ставится задача исследовать возможности снижения объема бетонного массива путем создания рациональных внутренних структур. Для реализации предложенного метода был разработан специализированный программный алгоритм на языке Python, позволяющий оценивать влияние геометрической оптимизации на частотный спектр системы и контактные давления в зоне сопряжения с грунтом.

В основе программы лежат упрощенные аналитические зависимости механики деформируемого твердого тела и теории колебаний. В свою очередь, собственная частота (f_n) колебаний – параметр, определяющий резонансную устойчивость. В данной работе фундамент рассматривается как система с одной степенью свободы:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad (1)$$

где k – жесткость системы; m – масса системы.

Результат измеряется в Герцах (Гц). В идеальном проектировании должна быть как минимум на 30-40% выше или ниже основной рабочей частоты станка.

Теперь стоит рассмотреть принцип расчета методом конечных элементов (МКЭ). Модель разбивается на элементы и узлы, в результате чего для каждого узла составляется уравнение равновесия:

$$\{F_e\} = [K_e]\{U_e\}, \quad (2)$$

где $\{F_e\}$ – вектор силового воздействия; $[K_e]$ – матрица жесткости; $\{U_e\}$ – вектор перемещений.

Помимо этого, ведется расчет удельного давления на грунт (p). Это критически важный параметр: если после удаления «лишнего» бетона опорная площадь уменьшится

слишком сильно, давление превысит несущую способность грунта ($[R]$), что приведет к неконтролируемой осадке и перекосу станины станка:

$$p = \frac{G_{\text{фунд}}}{S} \leq [R], \quad (3)$$

где $G_{\text{фунд}}$ – вес фундамента (Н); S – эффективная площадь контакта (м^2).

Путем расчета планируется анализировать изменение следующих параметров: масса фундамента ($M_{\text{фунд}}$), собственная частота (f_n) и давление на грунт (p).

В реальной инженерной практике снижение массы фундамента без потери его функциональности достигается не простым уменьшением габаритов, а за счет изменения внутренней архитектуры и применения высокотехнологичных материалов. Основными способами являются: переход к кессонным и пустотелым конструкциям; использование полимербетона и синтеграна; добавление стального каркаса; использование несъемной опалубки из легких материалов.

Результаты расчета для разных степеней оптимизации объема фундамента приведены в таблице 1:

Таблица 1. Результаты расчета.

Степень оптимизации (%)	Объем бетона (м ³)	Собственная частота (f_n , Гц)	Давление на грунт (P , кПа)	Коэффициент запаса ($[R]/P$)	Статус конструкции
0% (База)	27.0	10.56	43.5	5.68	Избыточная масса
15%	22.9	14.1	48.1	4.75	Допустимо
30%	18.9	17.8	54.8	3.64	Оптимальная зона
50%	13.5	22.4	88.5	2.25	Риск деформаций
70%	8.1	31.0	165.4	1.21	Предельное состояние
85%	4.0	45.2	320.1	0.62	Авария (Просадка)
100%	0.0	∞	∞	0.00	Разрушение системы

Проведенное исследование доказывает, что топологическая оптимизация объема фундамента металлорежущих станков на основе метода конечных элементов является эффективным инструментом снижения материалоемкости без потери эксплуатационных характеристик. Применение алгоритмов МКЭ позволило идентифицировать зоны с низким уровнем удельной энергии деформации, удаление материала из которых в объеме до 30% практически не отразилось на статической жесткости системы, но обеспечило смещение резонансного пика в высокочастотную область. Таким образом, переход от монолитных блоков к оптимизированным кессонным или полым структурам позволяет достичь баланса между экономической эффективностью строительства и динамической стабильностью станочного комплекса, что подтверждается полученными амплитудно-частотными характеристиками и анализом напряженно-деформированного состояния.

Список литературы:

1. *Вандер Плас, Дж.* Python для сложных задач: наука о данных и машинное обучение / Дж. Вандер Плас. — Санкт-Петербург : Питер, 2018. — 576 с.
2. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике / Пер. с англ. под ред. Б. Е. Победри. — М.: Мир, 1975. — 541 с.
3. *Каминская, В. В., Решетов, Д. Н.* Фундаменты и установка тяжелых станков. — М.: Машгиз, 1952. — 156 с. (Специализированный труд именно по теме статьи).
4. *Решетов, Д. Н.* Детали машин: Учебник для машиностроительных специальностей вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1989. — 496 с.
5. *Савинов О. А.* Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Стройиздат, 1979. — 200 с.