

УДК 621.9-219.1-751

Братан С. М., Владецькая Е. А., Харченко А. О.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ В УСЛОВИЯХ МЕХАНООБРАБАТЫВАЮЩИХ УЧАСТКОВ ПЛАВУЧИХ РЕМОНТНЫХ МАСТЕРСКИХ

Аннотация. Рассмотрены особенности эксплуатации шлифовальных станков плавучей ремонтной мастерской при наличии динамических воздействий на технологическую систему изменяющихся внешних факторов как от окружающей среды, так и от внешнего оборудования. Предложена методика поиска оптимальной структуры системы виброизолирующего устройства станка на основе системного подхода, в частности, метода морфологического анализа и синтеза технических решений. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований, которые легли в основу новой конструкции виброизолирующих опор шлифовального станка, позволившей повысить качество обработки при плоском шлифовании за счет повышения виброустойчивости.

Ключевые слова: шлифовальный станок, плавучая ремонтная мастерская, виброизолирующая опора, морфологический анализ, качество обработки.

Братан С. М., Владецька О. О., Харченко О. О.

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБРОБКИ ПРИ ШЛІФУВАННІ В УМОВАХ МЕХАНООБРОБНИХ ДІЛЯНОК ПЛАВУЧИХ РЕМОНТНИХ МАЙСТЕРЕНЬ

Анотація. Розглянуто особливості експлуатації шліфувальних верстатів плавучої ремонтної майстерні при наявності динамічних впливів на технологічну систему змінних зовнішніх факторів як від навколишнього середовища, так і від зовнішнього обладнання. Запропоновано методіку пошуку оптимальної структури системи віброізоляційного пристрою верстата на основі системного підходу, а саме, методу морфологічного аналізу та синтезу технічних рішень. Наведені результати теоретичних та експериментальних досліджень, що лягли в основу нової конструкції віброізоляційних опор шліфувального верстату, яка дозволила підвищити якість обробки при плоскому шліфуванні за рахунок підвищення вібростійкості.

Ключові слова: шліфувальний верстат, плавуча ремонтна майстерня, віброізоляційна опора, морфологічний аналіз, якість обробки.

Bratan S. M., Vladetskaya E. A., Harchenko A. O.

IMPROVEMENT OF GRINDING QUALITY FOR MECHANICAL PROCESSING ON FLOATING REPAIR SHOPS

Summary. The article describes the features of grinding machines operating in a floating repair shop together with impact of external equipment and the environment on their technological system. New methods of finding the optimal structure of the machine vibration-isolating device system on the basis of systematic approach, in particular based on morphological analysis and synthesis of technical solutions are proposed. The presented results of theoretical and experimental studies have improved the quality of processing by reducing

vibration effects on the technological system by means of improving the vibroisolation of grinding machines, equipped by vibroisolating mounts of new design.

Key words: grinding machine, floating repair shop, vibroisolating mount, morphological analysis, quality of processing.

Постановка проблемы. При ремонте морских и речных транспортных средств широкое применение находят такие передвижные механические комплексы, как плавучие ремонтные мастерские (ПРМ), на палубах которых размещены различные участки, в том числе и механообрабатывающие, включающие практически все виды станочного оборудования. Особенностью эксплуатации указанного оборудования является наличие вибраций, вызванных действием различных источников, приводящее к снижению точности и чистоты обработки, а также и к другим нарушениям технологических процессов.

Наличие колебаний в отклонениях расположения шероховатости поверхности, объясняются возмущающими воздействиями в технологических процессах, нестабильностью технологической системы за счет изменения внешних факторов, часть из которых не контролируется в процессе обработки. Эта проблема особенно актуальна для условий работы такого высокоточного технологического оборудования в ПРМ, как шлифовальные станки.

Анализ литературы. Общая модель формирования технологической системы шлифовального станка представлена на рис. 1.

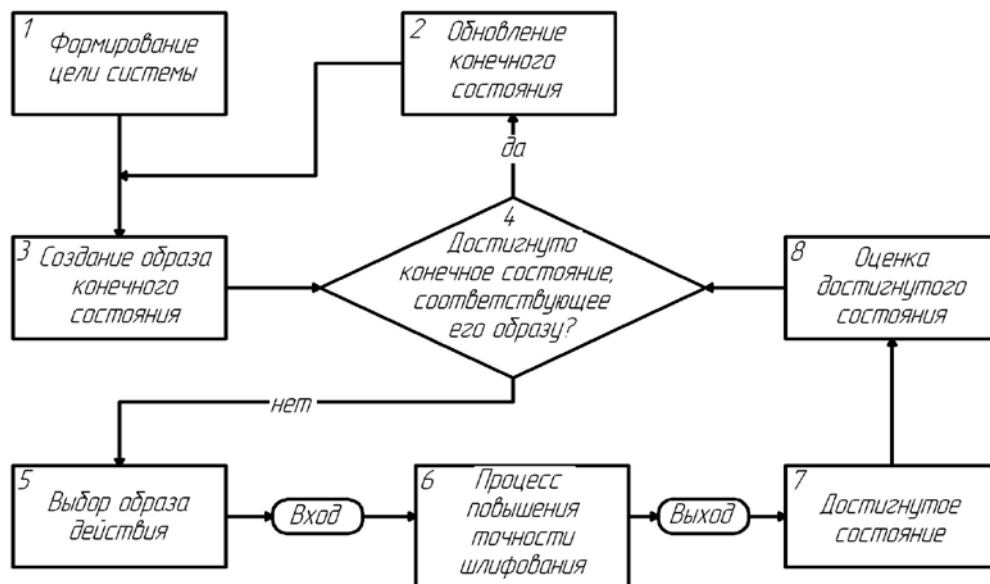


Рис. 1. Общая модель формирования рациональной технологической системы шлифовального станка.

Повышение точности шлифования за счет повышения эффективности виброизоляции станка в условиях ПРМ может быть достигнуто при условии выполнения следующих этапов (рис. 2).

На первом этапе необходимо выполнить анализ вибрационных взаимодействий станка в условиях работы ПРМ [1; 2]; на втором – разработать математическую модель динамической системы станка [3]; на третьем – определить динамические свойства и внешние воздействия от другого оборудования и окружающей среды, передаваемые через поверхность палубы несущей системе станка; на четвертом – выполнить морфологический анализ системы виброизолирующего устройства шлифовального станка; на пятом – провести оценку надежности синтезированных рациональных вариантов виброизолирующих устройств; на шестом – выполнить структурно-параметрическую оптимизацию этих

устройств; на седьмом – разработать рекомендации по повышению точности процесса шлифования в условиях ПРМ на основе высокоэффективных виброизолирующих устройств.

При системном анализе динамической системы оборудования ПРМ, кроме воздействий внешнего оборудования (компрессоров, вентиляторов, насосов, транспортно-загрузочных устройств), характерных для работы в стационарных условиях участка (цеха) и создающих гармоническое воздействие на основе с частотой вращения приводных двигателей ($f = 12...48,5 \text{ c}^{-1}$), и оборудования, создающего импульсное воздействие на основе (прессовые, долбежные и строгальные станки), необходимо учитывать такие воздействия внешней среды, как колебания водной поверхности, передающие вибрационные воздействия через плавучее основание и поверхность палубы на оборудование.

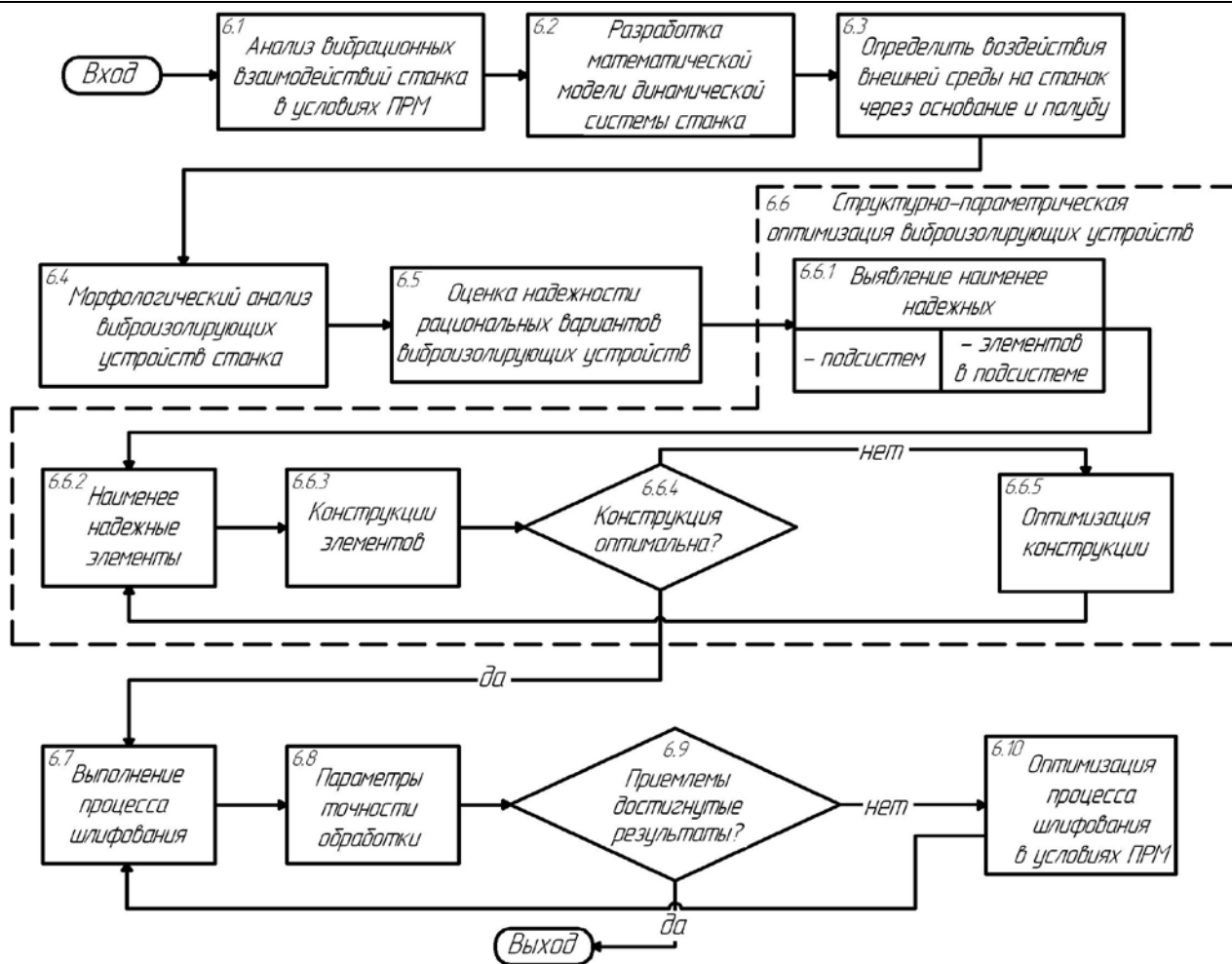


Рис. 2. Алгоритм повышения точности процесса шлифования в условиях ПРМ.

При декомпозиции механической обработки в ПРМ выделяют подсистемы: «Источник колебаний» и подсистема «Объект виброзащиты», которые соединены между собой связями, вызывающими колебания объекта от динамических воздействий. Знакопеременные напряжения, вызванные вибрационными воздействиями, приводят к накоплению повреждений в материале, что вызывает появление усталостных трещин и разрушения. Кроме усталостных разрушений в механических системах наблюдаются такие явления, как ослабление неподвижных соединений, смещение сопряженных поверхностей соединений деталей машин. При этом происходит изменение структуры поверхностных слоев сопрягаемых деталей, их износ и, как результат, уменьшение силы трения в соединении, что вызывает изменение диссипативных свойств объекта, смещает его собственные частоты и т. п.

Так, в системе металлорежущего станка, например, плоскошлифовального, при его работе в результате колебательных процессов (кинетических и силовых) происходят сложные вибрационные воздействия – как стационарные, так и нестационарные. Можно предположить также наличие ударных воздействий – механических

кратковременных в результате работы внешнего оборудования одновременно с процессом обработки, а также длительного действия за счет качки при колебаниях водной поверхности, передаваемых плавучим основанием через поверхность палубы технологическому оборудованию.

Период работы оборудования должен обеспечиваться удержанием плавучей ремонтной мастерской в заданном месте в условиях воздействия внешней среды – ветра, течения и морского волнения. В случае прекращения мер по удержанию возмущающие силы могут привести к приостановке работ, аварийным ситуациям и выходу из строя технологического оборудования.

Для обеспечения работоспособности оборудования необходимо обеспечивать возможность компенсации колебаний, создаваемых технологическим оборудованием вследствие смещений плавучей ремонтной мастерской в результате внешних возмущений, которые определяются сезонными условиями заданных акваторий. В частности, скорость течения может достигать 1,5 м/с, степень морского волнения – 5–6 баллов, скорость ветра – 25 м/с и более. Стабилизация плавучего основания может быть частично осуществлена с достаточной степенью точности тради-

ционными методами – успокоителями качки (цистернами со свободными поверхностями, расположенными вдоль бортов и сообщающимися между собой через устройства, поглощающие энергию потока перетекающей жидкости; управляемыми или неуправляемыми скуловидными киллями или рулями).

На плавучее основание ПРМ воздействуют возмущающие силы ветра, течения и морского волнения. Воздействие ветра может быть оценено путем измерения скорости и направления ветра румбоанемометрами, установленными на плавучем основании, или расчетом аэродинамических сил по известным соотношениям, подробно рассмотренным в работе [4].

Проведенный анализ и декомпозиция системы станка позволили выявить подсистемы и связи между ними, вызывающие колебания объекта под действием сил динамических воздействий.

Для определения динамических характеристик несущей системы, а именно амплитудно-частотных и амплитудно-фазовых частотных характеристик, необходимо наличие динамических моделей технологической системы станка, которые строятся на основе конкретной расчетной схемы. Одна из предлагаемых схем [2] позволяет проиллюстрировать динамику перемещений центров круга, заготовки и изменения фактической глубины резания в процессе круглого шлифования.

Повышение качества обработки деталей непосредственно связано с необходимостью ослабления вынужденных колебаний станка, передаваемых через поверхность палубы от внешних источников. Как правило, на палубах плавучих ремонтных мастерских фиксация станков обеспечивается фундаментом, который не обеспечивает достаточного уровня виброизоляции вслед-

ствие значительных колебательных воздействий, как от внешнего оборудования, так и от внешней среды через плавучее основание и поверхность палубы.

Целью статьи является разработка методики повышения качества обработки при шлифовании путем снижения уровня вынужденных колебаний станка за счет повышения эффективности виброизоляции его несущей системы на основе исследований процесса обработки в условиях ПРМ и с учетом мероприятий, принимаемых на этапах проектирования.

Изложение основного материала. Для поиска рациональных технических решений по конструкции виброизолирующих устройств станка используем метод морфологического анализа, достаточно полно разработанный для решения технических задач, в частности проектирования станков, их узлов и механизмов [5].

Однако для нашего случая этот метод в чистом виде использовать невозможно из-за очевидных недостатков его последнего этапа – выбора рационального варианта, при котором не учитываются реальные условия функционирования виброизолирующих устройств.

Поэтому морфологический анализ, базирующийся на последовательном переборе возможных вариантов элементов виброизолирующего устройства, принимаем в качестве аппарата на этапе создания рациональной ТС шлифовального станка для формирования множества структур системы виброизолирующего устройства (рис. 3) и оценки этих вариантов по укрупненным показателям. Для этого построим морфологическую матрицу (табл. 1), подробно рассматривая признаки и характеристики подсистем и элементов, а также выявляя связи между ними.

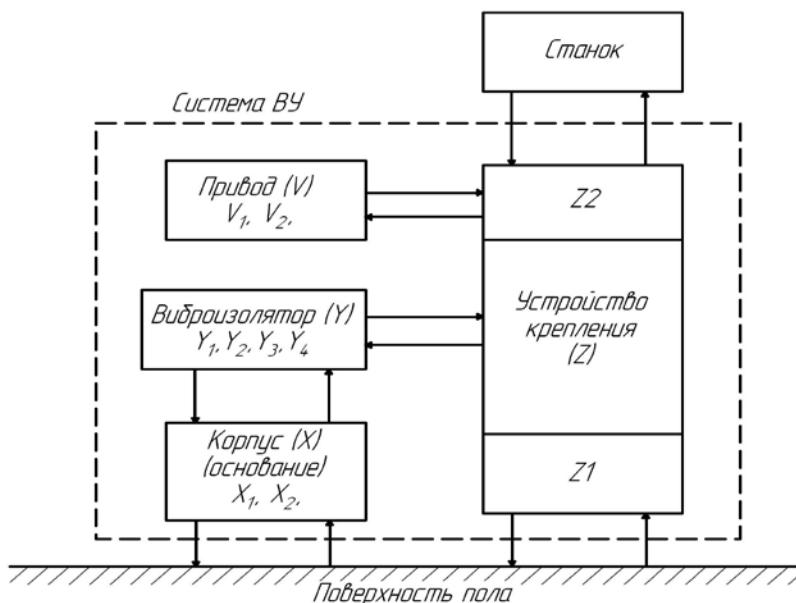


Рис. 3. Структурная схема системы виброизолирующего устройства (ВУ).

Морфологическая матрица системы виброизолирующего устройства.

Подсистема	Признаки	Элемент/Свойство
Корпус (X) (основание)	X ₁ . Форма	X ₁₁ Диск
		X ₁₂ Цилиндр
		X ₁₃ Квадрат
		X ₁₄ Призма
		X ₁₅ Корпус
		X ₁₆ Пирамида
		X ₁₇ Комбинированный
	X ₂ . Материал	X ₂₁ Металл
		X ₂₂ Пластик
		X ₂₃ Углеволокно
X ₂₄ Другие неметаллы		
Виброизолятор (Y)	Y ₁ . Материал	Y ₁₁ Резина
		Y ₁₂ Капролон
		Y ₁₃ Полиуретан
		Y ₁₄ Эластомер
		Y ₁₅ Металл
		Y ₁₆ Другие
	Y ₂ . Форма	Y ₂₁ Цилиндр
		Y ₂₂ Тор
		Y ₂₃ Конус
		Y ₂₄ Спираль
		Y ₂₅ Тарелка
		Y ₂₆ Переменного сечения
		Y ₂₇ С внутренней полостью
		Y ₂₈ Усечённой формы
		Y ₂₉ В виде мембраны
		Y ₂₁₀ В виде поршня
	Y ₃ . Рабочее тело	Y ₂₁₁ Другие
		Y ₃₁ Масло
		Y ₃₂ Воздух
	Y ₄ . Принцип действия	Y ₃₃ Отсутствует
		Y ₄₁ Растяжение-сжатие материала
		Y ₄₂ Изгибные деформации
		Y ₄₃ Перемещение рабочего тела
Устройство крепления (Z)	Z ₁ . К полу	Z ₁₁ Механическое
		Z ₁₂ Жёсткая фиксация
		Z ₁₃ Отсутствует
	Z ₂ . К станку	Z ₂₁ Механическое
		Z ₂₂ Жёсткая фиксация
		Z ₂₃ Упруго-механическая фиксация
Привод (V)	V ₁ . Вид привода	V ₁₁ Электромагнитный
		V ₁₂ Гидравлический
		V ₁₃ Пневматический
		V ₁₄ Комбинированный
		V ₁₅ Ручной
		V ₁₆ Отсутствует
	V ₂ . Вид передачи	V ₂₁ Непосредственно
		V ₂₂ Рычажной системой
		V ₂₃ Другие

После заполнения морфологической матрицы перейдем к синтезу вариантов структуры виброизолирующего устройства. Методика поиска оптимальной структуры системы при заданных требованиях состоит в следующем. Вначале из множества признаков $n = 1, 2, \dots, N$ подсистемы «корпус» (X), который имеет такие при-

знаки, как форма, материал, выделим наиболее приемлемые элементы для создания виброизолирующего устройства (ВУ).

При синтезе варианта ВУ применимы различные типы перечисленных элементов, которые обеспечат правильное функционирование системы, но имеют различные характеристики (на-

дѣжность, габаритные размеры, масса, стоимость).

Обозначение и расшифровка параметров X_{nm} , Y_{kl} , Z_{df} , V_{qw} для виброизолирующего устройства приведены в морфологической матрице, пред-

ставленной в табл. 1. Характеристики элементов из указанной таблицы выбираем в качестве основы для построения графа на рис. 4, характеризующего множество возможных вариантов подсистем ВУ, которое равно числу путей в графе.

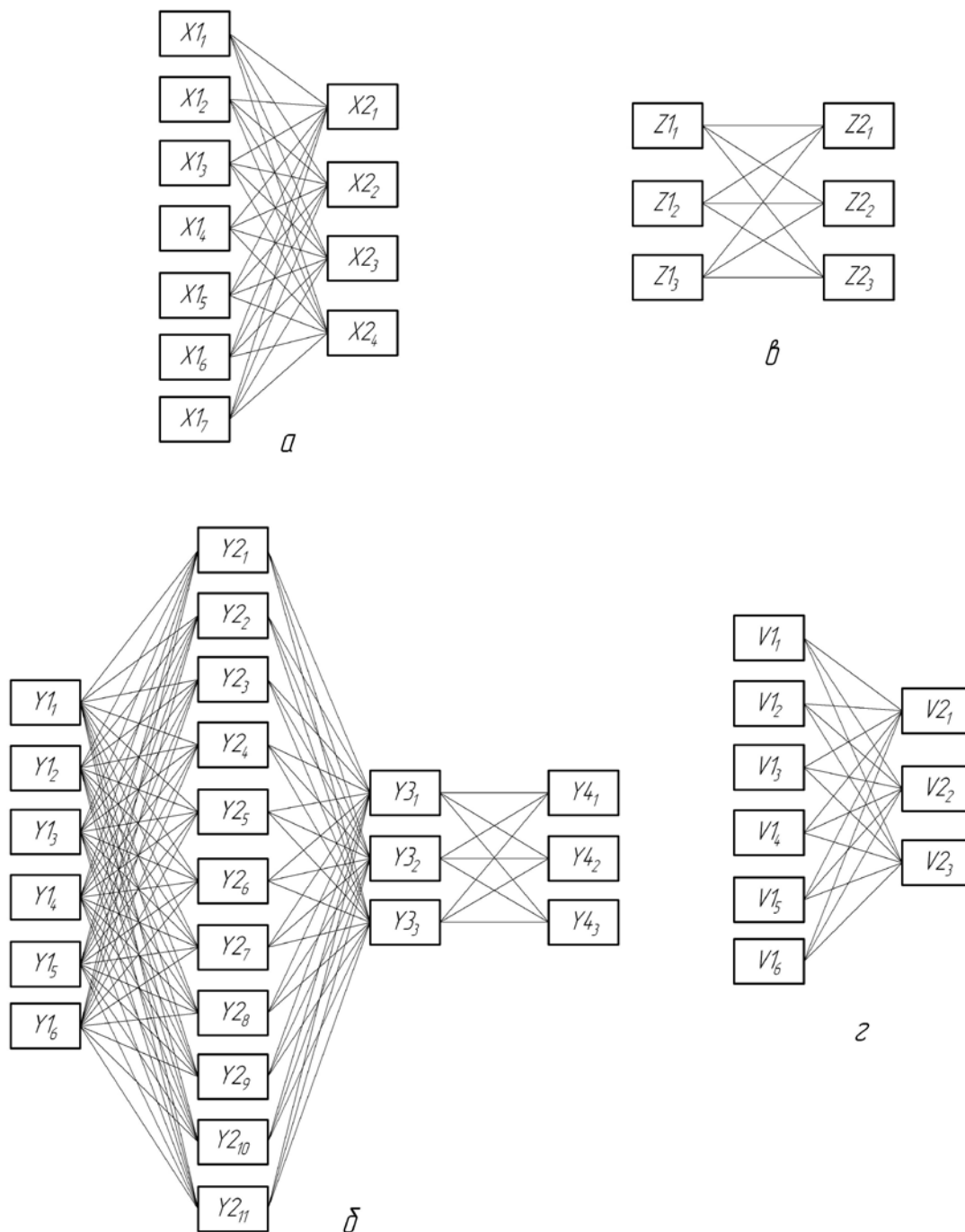


Рис. 4. Графы возможных структурных вариантов подсистем виброизолирующего устройства: а – корпус (X); б – виброизолятор (Y); в – устройство крепления (Z); г – привод (V).

С учётом большого количества вариантов синтез решения осуществляем, начиная с выбора вариантов подсистем, включая всё более и более существенные признаки. Кроме того, следует руководствоваться списком технических требований, определяющихся в первую очередь свойствами синтезируемой системы. В качестве примера зададимся конкретными свойствами техноло-

гической системы круглошлифовального станка 3Г71М, эксплуатируемого в условиях ПРМ:

- 1) масса – 3400 кг;
- 2) операция – плоское шлифование;
- 3) диапазон частот собственных колебаний – $f_z \leq 20$ Гц;
- 4) диапазон частот вынужденных колебаний – $f \leq 10$ Гц.

Вначале осуществляем выбор вариантов подсистемы «корпус».

Проводим выбор требований, предъявляемых к корпусу виброизолирующего устройства с учётом его основных функций, а также качественных показателей K_i^I , характеризующих технологичность, прочность, себестоимость.

Таковыми требованиями являются:

- 1) прочность (повышенная – $K_1^I = 1$, высокая – $K_1^I = 0,75$, средняя – $K_1^I = 0,5$);
- 2) технологичность (высокая – $K_2^I = 1,0$, низкая – $K_2^I = 0,5$);
- 3) себестоимость (высокая – $K_3^I = 0,5$, средняя – $K_3^I = 0,75$, малая – $K_3^I = 1,0$).

По формуле:

$$K_c = 1 - \sum_{i=1}^n \frac{1 - K_i}{n} \quad (1)$$

определяем суммарный качественный показатель для каждой из возможных структур. Наибольшие численные значения ($K_x = 0,93$) принадлежат синтезированному варианту:

$$X' = X_{1,7} \begin{matrix} | \\ X_{1,1} \\ | \\ X_{1,2} \end{matrix} \rightarrow X_{2,1} \quad (2)$$

Выбранный вариант представляет собой металлический корпус комбинированной формы – цилиндр с диском в нижней части.

Качественные показатели K_i^{II} в соответствии со следующими техническими требованиями:

- 1) виброизолирующие свойства (высокие – $K_1^{II} = 1,0$, средние – $K_1^{II} = 0,75$, минимально необходимые $K_1^{II} = 0,5$);
- 2) спектр гашения колебаний (широкий – $K_2^{II} = 1,0$, средний – $K_2^{II} = 0,75$, узкий – $K_2^{II} = 0,5$);
- 3) конструктивная сложность (высокая – $K_3^{II} = 0,5$, средней сложности – $K_3^{II} = 0,75$, простая – $K_3^{II} = 1,0$).

По аналогии с предыдущей подсистемой определим суммарный качественный показатель для «виброизолятора».

Наибольшая величина $K_y = 0,84$ принадлежит структуре:

$$Y' = Y_{1,1} \rightarrow \begin{matrix} | \\ Y_{2,1} \\ | \\ Y_{2,7} \\ | \\ Y_{2,10} \end{matrix} \rightarrow Y_{3,1} \rightarrow \begin{matrix} | \\ Y_{4,1} \\ | \\ Y_{4,2} \\ | \\ Y_{4,3} \end{matrix} \quad (3)$$

Виброизолятор, выполненный из резинового материала в виде цилиндра с внутренней поло-

стью с поршнем и рабочим телом (масло), использует принципы растяжения-сжатия, изгибных деформаций, а также перемещения рабочего тела через дросселирующие отверстия.

Устройство крепления (Z) выбирается из заданных условий функционирования и может осуществляться присоединением к полу ($Z1$) и к станку ($Z2$).

По наибольшему качественному показателю K_i^{III} структуру устройства крепления выбираем на основании технических требований:

- 1) надёжность фиксации от горизонтальных перемещений (высокая – $K_1^{III} = 1,0$ средняя – $K_1^{III} = 0,75$, низкая – $K_1^{III} = 0,5$);
- 2) сложность конструкции (высокая – $K_2^{III} = 0,5$; средняя $K_2^{III} = 0,75$, малая – $K_2^{III} = 1,0$);
- 3) возможность переустановки (отсутствует – $K_3^{III} = 0,5$, имеется $K_3^{III} = 1,0$).

Максимальный суммарный показатель $k_z = 0,92$ получил вариант подсистемы «устройство крепления»:

$$Z' = Z_{1,1} \rightarrow Z_{2,3} \quad (4)$$

Структура $Z1$ имеет механическое крепление к полу цеха (к палубе ПРМ) и упруго-механическую фиксацию к станку.

Затем выбираем подсистему «привод» (V). При этом руководствуемся списком технических требований по наибольшему качественному показателю K_i^{IV} :

- 1) демпфирующие свойства (высокие – $K_1^{IV} = 1,0$; средние – $K_1^{IV} = 0,75$; низкие – $K_1^{IV} = 0,5$);
- 2) сложность конструктивной реализации (высокая – $K_2^{IV} = 0,5$; средняя – $K_2^{IV} = 0,75$; малая – $K_2^{IV} = 1,0$);
- 3) возможность компактной и автономной установки (имеется – $K_3^{IV} = 1,0$; отсутствует – $K_3^{IV} = 0,5$).

Максимальный суммарный качественный показатель $K_v = 0,92$ получил следующий вариант подсистемы привода:

$$V^1 = V_{1,2} \rightarrow V_{2,2} \quad (5)$$

Привод выбран гидравлический с рычажной системой передачи прижимного усилия. На основе проведенного анализа подмножество синтезированных структур системы виброизолирующего устройства представим в виде графика на рис. 5.

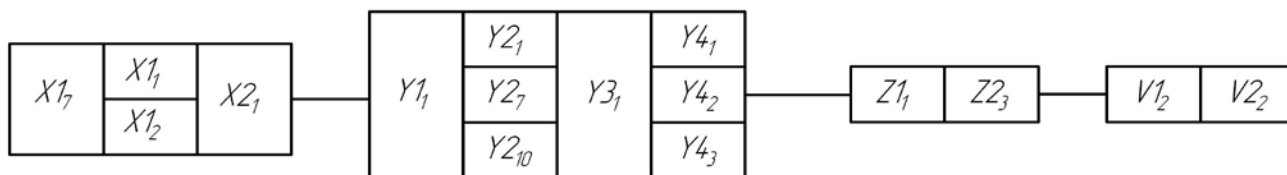


Рис. 5. Структура рационального варианта системы виброизолирующего устройства по качественным показателям.

Общее сочетание вариантов может быть различным, поэтому с учётом перспективы создания элементов из серийно выпускаемого оборудования путём модернизации и распределения его технологических возможностей, используя оценки качества подсистем, приведенные выше, выбираем рациональный структурный вариант:

$$X^I \rightarrow Y^I \rightarrow Z^I \rightarrow V^I. \quad (6)$$

Проведенные мероприятия позволяют решить задачу синтеза на уровне структурно-ком-

поновочной оптимизации. Этап параметрического синтеза и проведение дополнительных теоретических и практических исследований реальных конструкций виброизолирующих устройств, выполненные в Севастопольском национальном техническом университете, позволили создать новую конструкцию виброизолирующего устройства металлорежущего станка плавучей ремонтной мастерской [6]. Схема данного устройства изображена на рис. 6.

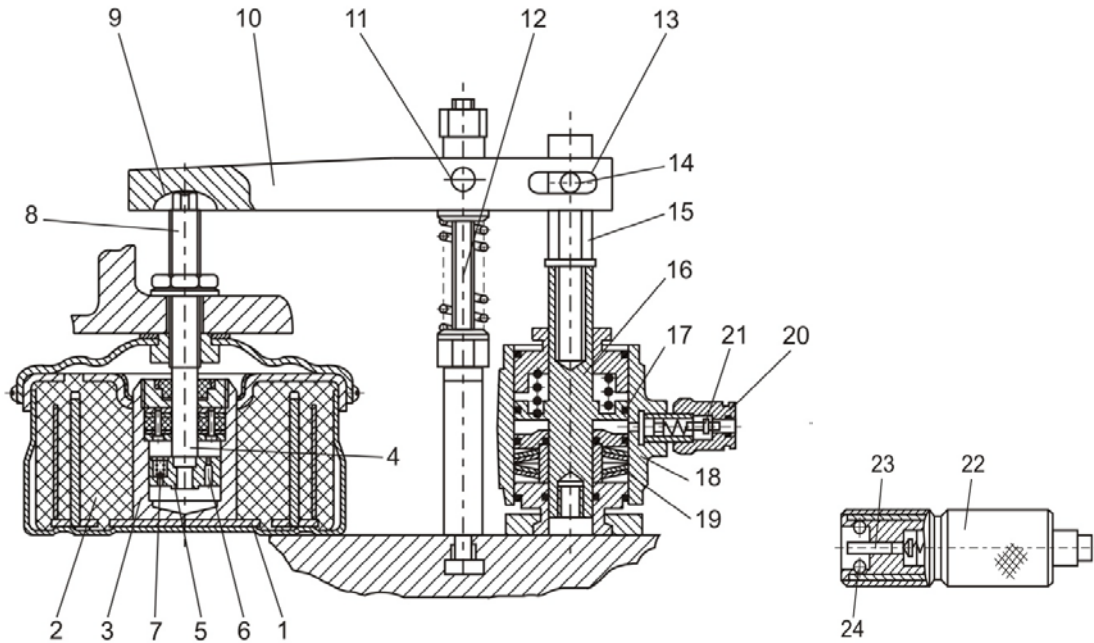


Рис. 6. Общий вид виброизолирующего устройства: 1 – основание; 2 – резиновый элемент; 3 – цилиндр; 4 – шток; 5 – поршень; 6 – калиброванное отверстие; 7 – клапан сжатия; 8 – регулировочный винт; 9 – сферическая поверхность лунки; 10 – прихват; 11 – ось; 12 – стойка; 13 – продольный паз; 14 – ось; 15 – опора; 16 – опорный шток; 17 – поршень; 18 – гидроцилиндр; 19 – пружинный аккумулятор; 20 – малая полумуфта; 21 – клапан; 22 – большая полумуфта; 23 – клапанный штырь; 24 – шарики.

Разработанное устройство повышает надёжность виброзащиты металлорежущих станков, работающих в условиях ПРМ от внешних колебаний, в том числе и от волнений водной поверхности, упрощает возможность монтажа и демонтажа технологического оборудования ПРМ

повышает качество обработки деталей за счёт снижения высоты волнистости (W_z) поверхности путем уменьшения вынужденных и собственных колебаний (рис. 7) на режимах $S_{пр} = 20$ м/мин, $S_{non} = 5$ мм/ход, $t = 0,008$ мм при плоском шлифовании (станок 3Г71М, материал – сталь X12М).

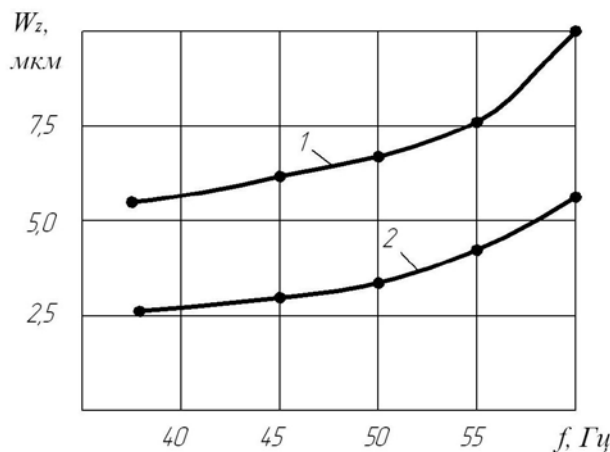


Рис. 7. Зависимость высоты волнистости обрабатываемой поверхности от частоты f вынужденных колебаний: 1 – станок на фундаменте; 2 – станок на виброизолирующей опоре новой конструкции.

Выводы. Проведенные в работе теоретические и экспериментальные исследования позволили обеспечить снижение волнистости поверхности обработки ($W_z = 2,5 \dots 5,3$ мкм) при плоском шлифовании за счет повышения виброустойчивости шлифовального станка, устанавливаемого на виброизолирующих опорах новой конструкции, разработанных для условий механообрабатываемых участков плавучих ремонтных мастерских.

Задачей дальнейших исследований является определение параметров потоков отказов и восстановлений синтезированного устройства для оценки его надежности при гашении колебаний от источников внешних возмущений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Владецкая Е. А. Повышение виброустойчивости шлифовальных станков плавучих ремонтных мастерских / Е. А. Владецкая, С. М. Братан, А. О. Харченко // Сучасні технології в машинобудуванні : зб. наук. праць. Вип. 7. – Харків : НТУ «ХПИ», 2012. – С. 103–111.
2. Братан С. М. Анализ влияния колебаний, передаваемых через фундамент станка, на качество процесса шлифования / С. М. Братан, Е. А. Владецкая // Вестник НТУ «ХПИ» : сб. научн. трудов. – 2008. – № 35. – С. 13–22.
3. Владецкая Е. А. Определение состояния равновесия динамической системы при круглом шлифовании / Е. А. Владецкая, С. М. Братан, Д. А. Каинов // Оптимизация производственных процессов : сб. науч. тр. – Севастополь : Изд-во СевНТУ, 2009. – № 11. – С. 102–106.
4. Владецкая Е. А. Повышение виброустойчивости механообрабатывающего оборудования плавучих ремонтных мастерских / Е. А. Владецкая, А. О. Харченко, С. М. Братан // Вісник СевНТУ. Серія : Машиноприладобудування та транспорт : зб. наук. праць. – Севастополь : Вид-во СевНТУ, 2010. – Вип. 107. – С. 33–40.
5. Кузнецов Ю. Н. Теория технических систем / Ю. Н. Кузнецов, Ю. К. Новоселов, И. В. Луцив. – Севастополь : Изд-во СевНТУ, 2010. – 252 с.
6. Пат. № 51621 Україна, МПК В 23 Q 1/00. Віброізолюючий пристрій металорізального верстата плавучої ремонтної майстерні / О. О. Харченко, К. О. Владецька, С. М. Братан, Д. О. Владецький ; заявник та патентовласник Севастопольський національний технічний університет. – № 201000394 ; заявл. 18.01.2010 ; опубл. 26.07.2010. Бюл. № 14.