

УДК 621.9-219.1-752

**Е.А. Владецькая, ассистент,
С.М. Братан, профессор, д-р техн. наук,
А.О. Харченко, доцент, канд. техн. наук**

*Севастопольский национальный технический университет
Ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053
tampt@sevntu.com.ua*

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ВИБРОЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ ШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА НА ОСНОВЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Предложена методика поиска оптимальной структуры виброзащитной системы шлифовального станка, работающего в условиях плавучей ремонтной мастерской, на основе использования системного подхода, в частности, метода морфологического анализа и синтеза технических решений.

Ключевые слова: *шлифовальный станок, виброизолирующее устройство, морфологическая матрица, графы структурных вариантов.*

Для повышения качества обработки прецизионные станки должны быть защищены от вибраций соседних установок. При монтаже некоторых станков (шлифовальных, точных токарно-винторезных, балансировочных и т.п.) на фундаментах первой группы, когда роль собственно фундамента выполняет станина, ряд заводов практикует в качестве антивибрационного мероприятия установку станков на виброизолирующих опорах. При недостаточно тщательном подборе или при изменении режима работы станка упругие элементы могут вызывать даже усиление вибраций.

Однако, в тех случаях, когда требуется особо малая волнистость и шероховатость обработанной поверхности или когда источник большой вибрации находится поблизости, то вышеуказанный способ виброизоляции является недостаточным.

Повышение качества обработки деталей в условиях плавучей ремонтной мастерской (ПРМ) непосредственно связано с необходимостью уменьшения вынужденных колебаний станка, передаваемых через поверхность палубы от внешних источников. Уровень вынужденных колебаний станка снижается при установке его на виброизолирующие устройства.

Как правило, на палубах плавучих ремонтных мастерских фиксация станков обеспечивается фундаментом, который не обеспечивает достаточного уровня виброизоляции вследствие значительных колебательных воздействий как от внешнего оборудования, так и от внешней среды через плавучее основание и поверхность палубы.

Целью данной статьи является разработка методики оптимизации структуры виброзащитных систем шлифовального станка, работающего в условиях плавучей ремонтной мастерской, на основе метода морфологического анализа и синтеза технических решений.

Традиционные виброизолирующие опоры металлорежущих станков [1,2] выполнены на основе виброизоляторов, различающихся упруго-демпфирующими характеристиками, различным сочетанием виброизолирующих и ударно-защитных свойств, долговечностью, способностью функционировать в тех или иных климатических условиях, а также чисто конструктивными особенностями – габаритами, способом монтажа и т.д., не могут быть использованы на плавучих ремонтных мастерских по причине невозможности их функционирования в условиях качки плавучего основания и горизонтальных смещений под ее воздействием.

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 [3].

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 технологической системы круглошлифовального станка для формирования множества структур системы виброизолирующего устройства (рисунок 1) и оценки этих вариантов по укрупненным показателям. Для этого воспользуемся построением морфологической матрицы (таблица 1), подробно рассматривая признаки и характеристики подсистем и элементов, а также выявляя связи между ними.

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 следующие признаки — форма, материал, выделим наиболее приемлемые элементы для создания виброизолирующего устройства (ВУ).

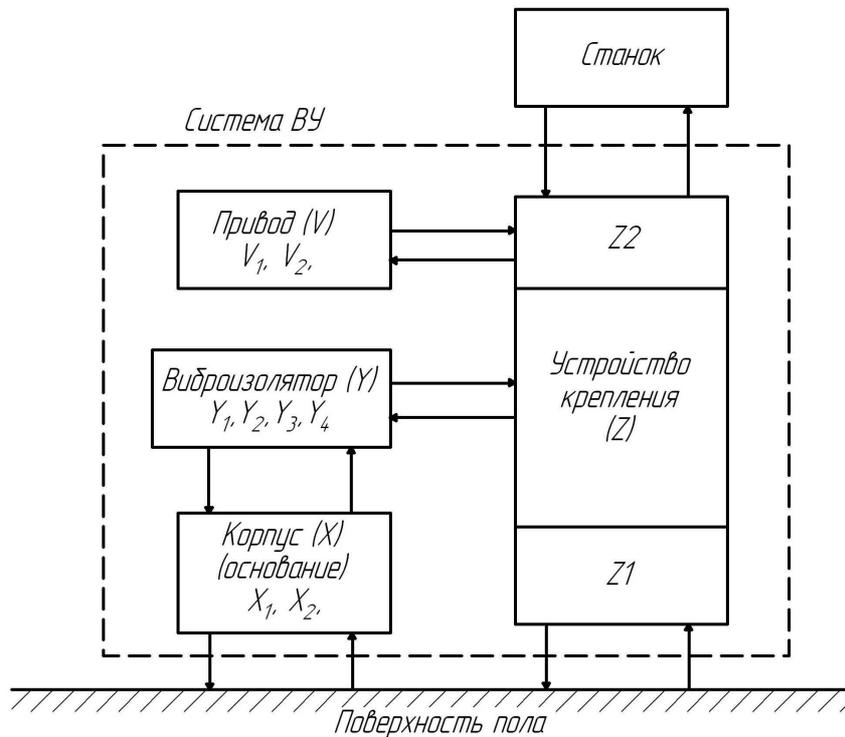


Рисунок 1 – Структурная схема системы виброизолирующего устройства (ВУ)

При синтезе варианта, ВУ применимы различные типы перечисленных элементов, которые обеспечат правильное функционирование системы, но имеют различные характеристики (надёжность, габаритные размеры, масса, стоимость).

Пусть имеется M типов n -го узла, причём n -порядковый номер типа данного узла ($m = 1, 2, \dots, M$). Обозначив через X_{nm} совокупность параметров n -го узла M -го типа, множество состояний подсистемы «корпус» выразим в виде матрицы:

$$\|X\| = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{21} & \dots & X_{N1} \\ X_{12} & X_{22} & \dots & X_{N2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{1M} & X_{2M} & \dots & X_{NM} \end{pmatrix}.$$

Совокупность параметров k -го узла 1-го типа подсистемы «виброизолятор» обозначим через Y_{kl} . Тогда множество состояний этой подсистемы запишем следующим образом:

$$\|Y\| = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{21} & \dots & Y_{K1} \\ Y_{12} & Y_{22} & \dots & Y_{K2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{1L} & Y_{2L} & \dots & Y_{KL} \end{pmatrix},$$

где $k = 1, 2, \dots, L$.

По аналогии в виде матрицы выражаем множество состояний подсистемы «устройство крепления» ($d = 1, 2, \dots, D$ - порядковый номер признака; $f = 1, 2, \dots, F$ -номер признака):

$$\|Z\| = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{21} & \dots & Z_{D1} \\ Z_{12} & Z_{22} & \dots & Z_{D2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{1F} & Z_{2F} & \dots & Z_{DF} \end{pmatrix}.$$

Свойства подсистемы «привод» задаём множеством состояний V_{QW} ($Q = 1, 2, \dots, Q$; $W = 1, 2, \dots, W$) и выражаем матрицей:

$$\|V\| = \begin{vmatrix} V_{11} & V_{21} & \dots & V_{Q1} \\ V_{12} & V_{22} & \dots & V_{Q2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{1W} & V_{2W} & \dots & V_{QW} \end{vmatrix}.$$

Таблица 1 — Морфологическая матрица системы виброизолирующего устройства

Подсистема	Признаки	Элемент/Свойство		
1	2	3		
Корпус (X) (основание)	X1. Форма	X ₁₁ Диск		
		X ₁₂ Цилиндр		
		X ₁₃ Квадрат		
		X ₁₄ Призма		
		X ₁₅ Корпус		
		X ₁₆ Пирамида		
		X ₁₇ Комбинированный		
	X2. Материал	X ₂₁ Металл		
		X ₂₂ Пластик		
		X ₂₃ Углеволокно		
		X ₂₄ Другие неметаллы		
		Виброизолятор (Y)	Y1. Материал	Y ₁₁ Резина
				Y ₁₂ Капролон
Y ₁₃ Полиуретан				
Y ₁₄ Эластомер				
Y ₁₅ Металл				
Y ₁₆ Другие				
Y2. 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 ₂₁₁ Другие			
Y3. Рабочее тело	Y ₃₁ Масло			
	Y ₃₂ Воздух			
	Y ₃₃ Отсутствует			
Y4. Принцип действия	Y ₄₁ Растяжение-сжатие материала			
	Y ₄₂ Изгибные деформации			
	Y ₄₃ Перемещение рабочего тела			
Устройство крепления (Z)	Z1. К полу	Z ₁₁ Механическое		
		Z ₁₂ Жёсткая фиксация		
		Z ₁₃ Отсутствует		
	Z2. К станку	Z ₂₁ Механическое		
		Z ₂₂ Жёсткая фиксация		
		Z ₂₃ Упруго-механическая фиксация		
Привод (V)	V1. Вид привода	V ₁₁ Электромагнитный		
		V ₁₂ Гидравлический		
		V ₁₃ Пневматический		
		V ₁₄ Комбинированный		
		V ₁₅ Ручной		
		V ₁₆ Отсутствует		
		V2. Вид передачи	V ₂₁ Непосредственно	
	V ₂₂ Рычажной системой			
	V ₂₃ Другие			

Обозначение и расшифровка параметров X_{nm} , Y_{kl} , Z_{df} , V_{qw} для виброизолирующего устройства приведены в морфологической матрице, представленной в таблице 1. Характеристики элементов из указанной таблицы выбираем в качестве основы для построения графа на рисунке 2, характеризующего множество возможных вариантов подсистем ВУ, которое равно числу путей в графе.

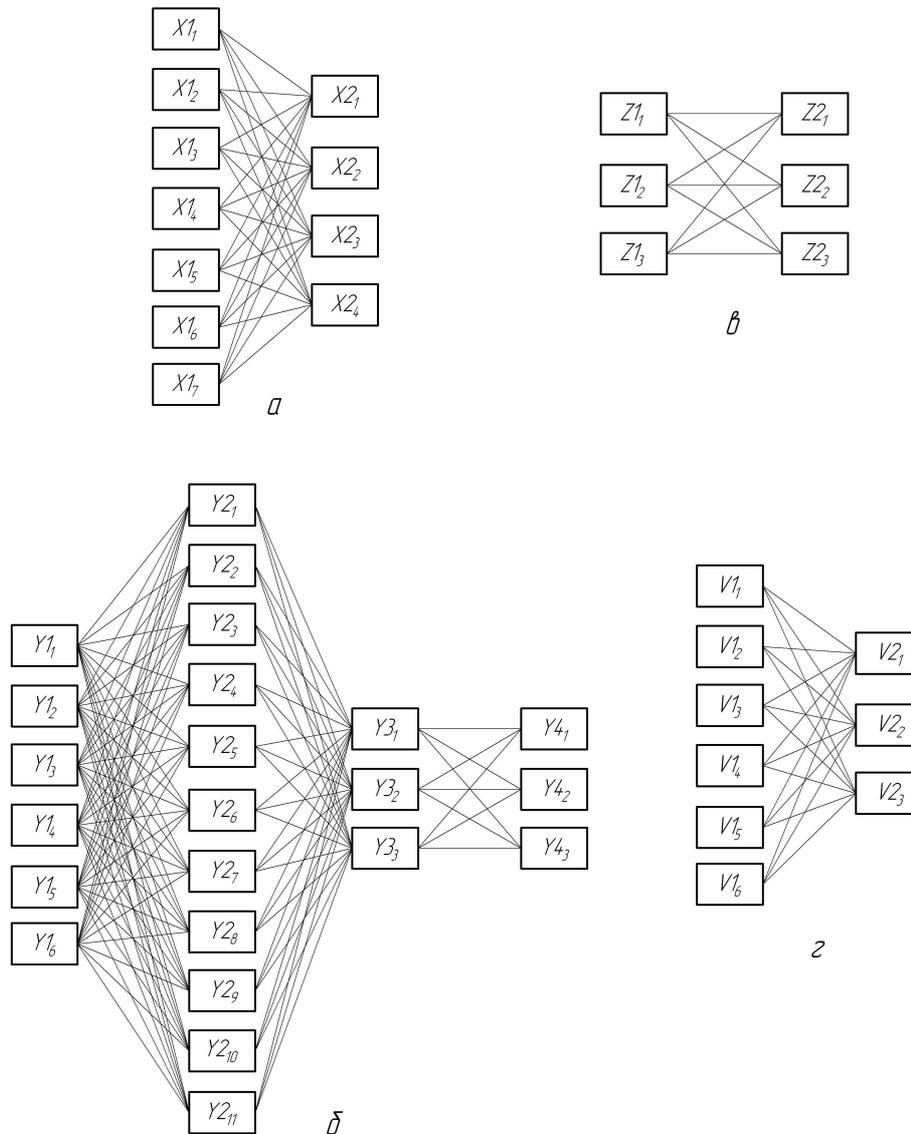


Рисунок 2 – Графы возможных структурных вариантов подсистем виброизолирующего устройства:
 а – корпус (X), б – виброизолятор (Y), в – устройство крепления (Z), г – привод (V)

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 технологической системы круглошлифовального станка 3М151, эксплуатируемого в условиях ПРМ:

- 1) масса — 5600 кг;
- 2) операция — круглое врезное шлифование;
- 3) режимы обработки:
 - частота вращения шпинделя – 40...400 мин⁻¹
 - частота вращения шлифовального круга – 1590 мин⁻¹
- 4) диапазон частот собственных колебаний – $f_z \leq 20$ Гц;
- 5) 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:

прочность (повышенная – $K_1^I = 1$, высокая – $K_1^I = 0,75$, средняя – $K_1^I = 0,5$);

технологичность (высокая – $K_2^I = 1,0$, низкая – $K_2^I = 0,5$);

себестоимость (высокая – $K_3^I = 0,5$, средняя – $K_3^I = 0,75$, малая – $K_3^I = 1,0$).

По формуле:

$$K_c = 1 - \sum_{i=1}^n \frac{1 - K_i}{n}.$$

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

$$X' = X_{17} \left| \begin{array}{l} X_{11} \\ X_{12} \end{array} \right| \rightarrow X_{21}.$$

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:

$$Y' = Y_{11} \rightarrow \left| \begin{array}{l} Y_{21} \\ Y_{27} \\ Y_{210} \end{array} \right| \rightarrow Y_{31} \rightarrow \left| \begin{array}{l} Y_{41} \\ Y_{42} \\ Y_{43} \end{array} \right|.$$

Виброизолятор выполнен из резинового материала в виде цилиндра с внутренней полостью с поршнем и рабочим телом (масло), использующими 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»:

$$Z' = Z_{11} \rightarrow Z_{23}$$

Структура Z_1 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:

$$V^1 = V1_2 \rightarrow V2_2 .$$

Привод выбран гидравлический с рычажной системой передачи прижимного усилия. На основе проведенного анализа подмножество синтезированных структур системы виброизолирующего устройства представим в виде графа на рисунке 3. Общее сочетание вариантов может быть различным, поэтому с учетом перспективы создания элементов из серийно выпускаемого оборудования путем модернизации и распределения его технологических возможностей, используя оценки качества подсистем, приведенные выше, выбираем рациональный структурный вариант:

$$X^1 \rightarrow Y^1 \rightarrow Z^1 \rightarrow V^1 .$$

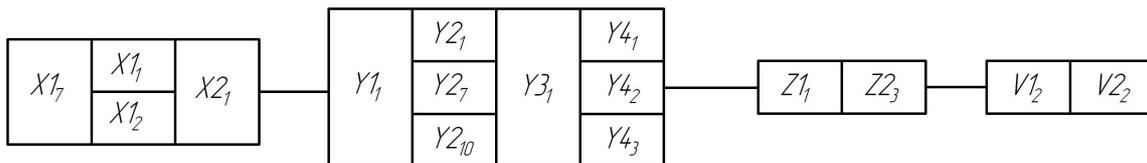


Рисунок 3 – Структура рационального варианта системы виброизолирующего устройства по качественным показателям

Проведенные мероприятия позволяют решить задачу синтеза на уровне структурно-компоновочной 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 [4], показанное на рисунке 4.

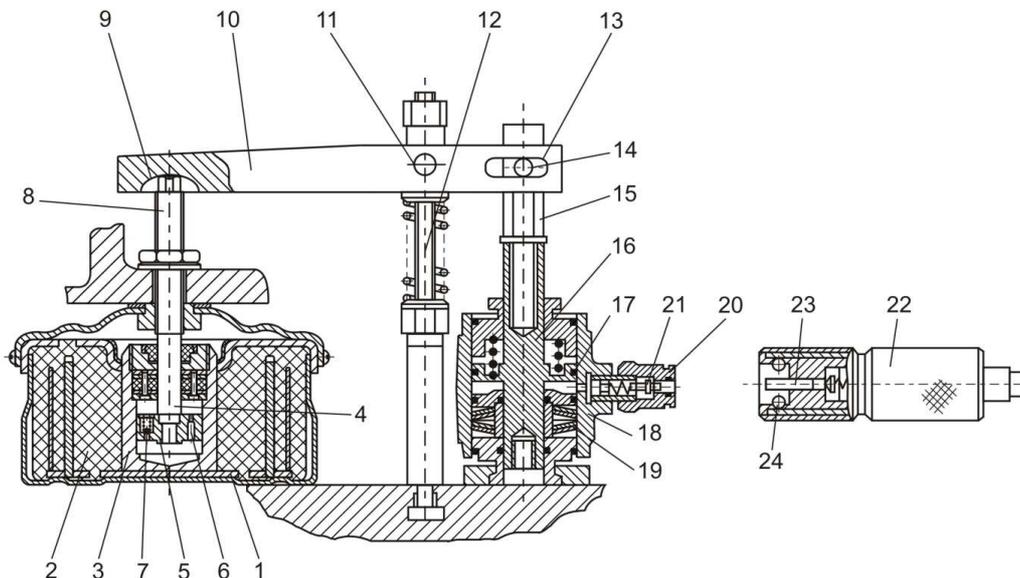


Рисунок 4 – Общий вид виброизолирующего устройства: 1 – основание; 2 – резиновый элемент; 3 – цилиндр; 4 – шток; 5 – поршень; 6 – калиброванное отверстие; 7 – клапан сжатия; 8 – регулировочный винт; 9 – сферическая поверхность лунки; 10 – прихват; 11 – ось; 12 – стойка; 13 – продольный паз; 14 – ось; 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 имеет следующие преимущества:

– повышается надежность виброзащиты металлорежущих станков, установленных и работающих в условиях ПРМ, от внешних колебаний, в том числе и от волнений водной поверхности;

– упрощається можливість монтажу і демонтажу технологічного обладнання ПРМ путем застосування замість використовуваних в даний час бетонних фундаментів (навіть для легких і середніх станків) пропонується віброізолюючі пристрої на кожній з опор;

– підвищується якість обробки деталей за рахунок зниження погрешностей їх форми путем зменшення зовнішніх і внутрішніх коливань, гашенню яких сприяють віброізолюючі опори і пружинні накопичувачі в гідроциліндрах.

Висновки. Такий підхід дозволив вирішити задачу на рівні структурно-компонентної оптимізації на основі методу морфологічного аналізу з наступним параметричним синтезом і створити реальну конструкцію найбільш ефективного віброізолюючого пристрою. Отримані результати є основою для подальших експериментальних досліджень динамічних характеристик технологічної системи круглошліфувального станка в умовах плаваючої ремонтної майстерської, а також надійності віброізолюючих пристроїв з метою підвищення точності обробки путем зменшення хвилястості і шероховатості поверхні деталі.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Братан С.М. Аналіз впливу коливань, передаваних через фундамент станка, на якість процесу шліфування / С.М. Братан, Е.А. Владецька // Вестник НТУ «ХПИ»: сб. науч. тр. — 2008. — № 35. — С. 13–22.

2. Владецька Е.А. Підвищення віброустійчивості шліфувальних станків плаваючих ремонтних майстерських / Е.А. Владецька, С.М. Братан, А.О. Харченко // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. — Харків, 2012. — Вип. 7. — С. 103–111.

3. Кузнецов Ю.Н. Теорія технічних систем / Ю.Н. Кузнецов, Ю.К. Новоселов, І.В. Луцив. — Севастополь: СевНТУ, 2010. — 252 с.

4. Пат. 51621 Україна, МПК В23Q 1/00. Віброізолюючий пристрій металорізального верстата плаваючої ремонтної майстерні / Харченко О.О., Владецька К.О., Братан С.М., Д.О. Владецький; заявник та патентовласник Севастопольський національний технічний університет. — № 201000394; заявл.18.01.2010; опубл.26.07.2010, Бюл. №14.

Поступила в редакцію 23.03.2013 г.

Владецька К.О., Братан С.М., Харченко О.О. Оптимізація структури віброзахисних систем шліфувального верстату на основі морфологічного аналізу

Розроблено методику пошуку оптимальної структури віброзахисної системи шліфувального верстату, працюючого в умовах плаваючої ремонтної майстерні, на основі використання системного підходу, а саме, методу морфологічного аналізу та синтезу технічних рішень, а також наведено нову конструкцію створеного за вказаною методикою віброізолюючого пристрою металорізального верстата.

Ключові слова: шліфувальний верстат, віброізолюючий пристрій, морфологічна матриця, графі структурних варіантів.

Vladetskaya E.A., Bratan S.M., Kharchenko A.O. Optimisation of vibroisolation systems' structure of grinding machine based on morphological analysis

The method of finding the optimal structure of vibroisolation systems of grinding machine is developed, running in a floating dock, on the basis of a systematic approach, namely, the method of morphological analysis and synthesis of technical solutions. With the help of this method a new design of vibroisolation unit of grinding machine is also provided.

Keywords: grinding machine, vibroisolation unit, morphological matrix, graphs of structural variants.