

3. IMO FAQ for IMO regulations to reduce air pollution from ships and the review of fuel oil availability, September 2016
4. The 4T50ME-GI Test Engine at MAN Diesel & Turbo's Copenhagen Test Centre, Printed in Denmark MAN Diesel & Turbo Tegholmsgade Copenhagen SV, Denmark, Feb 2011
5. Kostylev I.I. Szhizhenyj prirodnyj gaz kak sudovoe toplivo: problemy i perspektivy ih resheniya / I.I. Kostylev // Transport Rossijskoj Federacii. – 2018. – №2 (75), – www.rostransport.com – s.74-78
6. Tendencii ispol'zovaniya prirodnogo gaza v kachestve motornogo topliva na primere raz-vitiya transportnyh sredstv na prirodnom gaze v Kitae-neftegas.info/article/tendentsii-razvitiya-ispolzovaniya-prirodnogo-gaza-v-kachestve-motornogo-topliva-na-primere-istorii-/
7. Brett B.C. Potential Market for LNG fuelled Marine Vessels in the United States. Massachusetts, Institute of Technology Publ., 2016
8. Hudyakov S.A. Osobennosti dizelej firmy MANB&W serii ME-GI i ih toplivnoj sis-temy / S.A. Hudyakov, V.A. Bashkatov // Eks-pluataciya morskogo transporta.– 2018.– № 2 (83),– S.107-114.
9. Hudyakov S.A. Sistemy podvoda gaza dlya dizelej firmy MANB&W serii SME-GI/ S.A. Hudyakov, V.A. Bashkatov // Ekspluataciya morskogo transporta.– 2018.– № 3 (88). – S.81- 86.
10. Hudyakov S.A. Prakticheskie osobennosti modernizacii toplivnyh sistem i dvigatelej sudov portovogo flota dlya ispol'zovaniya SPG v kachestve topliva / S.A. Hudyakov, A.I. Epihin // Ekspluataciya morskogo transporta.– 2019.– № 2 (91). – S.101- 107.
11. Mezhdunarodnyj kodeks po bezopasnosti dlya sudov, ispol'zuyushchih gazy i inye vidy topliva s nizkoj temperaturoj vspyshki (Kodeks MGT).

УДК 621.9-219.1-752

DOI: 10.34046/aumsuomt94/19

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ В ПЛАВУЧЕЙ МАСТЕРСКОЙ

Е.А. Владецкая, кандидат технических наук, доцент

В работе рассмотрены результаты исследований процесса шлифовальной обработки с учетом оценки качества деталей при возмущающих вибрационных воздействиях на оборудование внешних сил, являющихся следствием морского волнения, а также соседнего работающего оборудования в условиях плавучей мастерской. Целью является выработка практических рекомендаций по повышению качества шлифования деталей в плавучих мастерских на основе результатов испытаний новых виброизолирующих устройств. Исследования базируются на основе моделирования взаимодействия инструмента и заготовки в плавучих мастерских как динамической системы со сложными вибрационными воздействиями, а также ударными воздействиями от внешнего оборудования и морского волнения через плавучее основание и поверхность палубы. Подтверждена целесообразность использования новой виброзащитной системы станка для обеспечения качества шлифования на основе создания конструкций эффективных виброизолирующих опор и устройств.

Ключевые слова: плавучая мастерская, шлифовальный станок, процесс шлифовальной обработки, качество обработки, шероховатость поверхности, волнистость, виброизолирующая опора.

The paper discusses the results of studies of the grinding process taking into account the quality assessment of parts under disturbing vibration effects on the equipment of external forces, resulting from sea waves, as well as neighboring operating equipment in the conditions of a floating workshop. The goal is to develop practical recommendations for improving the quality of grinding parts in floating workshops based on the test results of new vibration-isolating devices. The studies are based on modeling the interaction of the tool and the workpiece in floating workshops as a dynamic system with complex vibration effects, as well as shock effects from external equipment and sea waves through the floating base and deck surface. The expediency of using the new vibration-proof system of the machine to ensure the quality of grinding based on the creation of structures of effective vibration-isolating supports and devices has been confirmed.

Keywords: floating workshop, grinding machine, grinding process, quality of processing, surface roughness, waviness, vibration isolating support.

При ремонте и строительстве судов, а также при техническом обслуживании судовых механизмов в удаленных акваториях широкое применение находят такие передвижные комплексы, как плавучие мастерские (рисунок 1), 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, при-

водящее к снижению точности и чистоты обработки, а также и к другим нарушениям технологических процессов.

Для повышения качества обработки прецизионные станки должны быть защищены от вибраций соседних установок. При монтаже некоторых станков (шлифовальных, точных токарно-винторезных, расточных и т.п.) на фундаментах первой группы, когда роль собственно фундамента выполняет станина, в качестве антивибрационного мероприятия практикуют их установку на виброизолирующих опорах. При их недостаточно тщательном подборе и изменении режимов работы станка могут возникать даже усиления вибраций. В случаях, когда требуется особо малая волнистость и шероховатость обработанной поверхности, а также если источник вибрации находится поблизости, такой способ виброизоляции является недостаточным [1].

Повышение качества обработки деталей в условиях плавучей мастерской непосредственно связано с необходимостью уменьшения вынуж-

денных колебаний станка, передаваемых через поверхность палубы от внешних источников, в том числе и от внешней среды – волнений водной поверхности.

Как правило, на палубах плавучих 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 поиск путей обеспечения качества шлифовальной обработки на основе системного анализа процесса, моделирования и оценок, исследования влияния на динамику станка морского волнения, в качестве внешних сил действующего на плавучее основание плавучей мастерской, оптимизации структуры виброзащитной системы станка, способствующей снижению уровня внешних воздействий на него при работе.



а



б

Рисунок 1 - Общий вид плавучей мастерской (а) и пример установки ее оборудования (б)

Технологический процесс шлифования (в частности, чистового) является сложным многокомпонентным объектом, на который оказывает влияние большое количество изменяющихся входных, управляющих и возмущающих воздействий, поэтому необходимо рассмотреть его как систему.

Методами системного анализа проводим декомпозицию воздействий со стороны окружающей среды на технологический процесс: а) измеряемая и управляемая часть – вектор управления $U(\tau)$; б) измеряемая, но неуправляемая часть – вектор входных переменных $X(\tau)$; в) неизмеряемая и неуправляемая часть – вектор $\Omega(\tau)$.

Внутри каждого из указанных векторов можно выделить компоненты, характеризующие факторы, воздействующие на технологический процесс (рисунок 2).

Состояние технологического процесса отображается вектором $Z(\tau)$. При этом доступная

измерению часть $Z(\tau)$ является вектором выходных переменных $Y(\tau)$. Часть выходных переменных $Y(\tau)$ определяет единичные показатели качества $y_k(\tau)$, по которым целесообразно вести оценку стабильности технологического процесса.

Согласно общепринятым представлениям, под стабильностью понимают свойство технологического процесса сохранять показатели качества изготовления продукции в заданных пределах в течение некоторого промежуточного времени.

Следовательно,

$$|y_k(\tau_0) - y_k(\tau)| \leq \varepsilon_k \quad \text{при} \quad \tau \in (\tau_0, \tau_f), \quad (1)$$

где ε_k – заданный предел изменения k -го показателя качества, (τ_0, τ_f) – заданный интервал времени, в течение которого должны сохраняться показатели качества. Эти показатели должны находиться в пределах заданного поля допуска:

$$y_{k \min} \leq y_k(\tau) \leq y_{k \max}.$$

Неравенство (1) гарантированно выполняется при условии

$$\left| \frac{dy_k}{d\tau} \right| \leq \delta_k, \tag{2}$$

где $\delta_k = \frac{\varepsilon_k}{\tau_f - \tau_0}$ – ограничение по скорости

изменения параметра y_k .



Рисунок 2 - Системный анализ технологического процесса

Причинами, вызывающими изменение y_k являются внешние воздействия на технологический процесс, т.е. векторов воздействий $U(\tau)$, $X(\tau)$, $\Omega(\tau)$ и начальные условия состояния $Z(\tau_0)$. В силу того, что $\Omega(\tau)$ является неизмеряемым, его компоненты могут считаться случайными функциями, результат воздействия которых приводит к случайным отклонениям от номинальных значений y_k и, следовательно, появлению элементов случайности в показателях качества.

Для такого случая критерием стабильности служит среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра σ_{y_k} , т.е.

$$\sigma_{y_k} \leq \sigma_{y_k \max} \tag{3}$$

Обеспечение стабильности соответствующих показателей производится за счет выбора компонент вектора $U(\tau)$ (рисунок 2). Считается, что рациональными являются такие параметры управления $U(\tau)$, которые обеспечивают положение центра рассеивания y_k внутри поля допуска $(y_{k \min}, y_{k \max})$ на таком уровне y_{k0} , который минимизирует вероятность появления бракованных деталей. Обычно указанную задачу решают путем соответствующей фиксированной настройки станка $U^*_0(\tau_0)$, обеспечивавшей заданные параметры в течение максимально достижимого интервала времени.

Все вышеперечисленные алгоритмы не обеспечивают одновременную стабилизацию параметров качества в условиях случайных возмущений $\Omega(\tau)$, что недопустимо для операций чистового шлифования, для которых допуски ε_k

являются малыми величинами.

На операциях чистового шлифования обработка заготовок также выполняется в условиях непостоянства параметров технологической системы обработки и окружающей среды. Изменяется состояние рабочей поверхности абразивного инструмента, состав и свойства СОТС, параметры жесткости технологической системы, температура окружающей среды и т.д. Изменение одних параметров протекает за период обработки одной детали, других – в течение смены, третьих – в течение более длительного периода.

Для таких условий $Z(\tau) = \text{var}$, вектор управления $U^*(\tau)$ должен выбираться с учетом изменения $Z(\tau)$, и для каждой детали m необходимо подбирать новое управление $U_m^*(\tau)$.

Применение традиционных методов и средств для обеспечения стабильности заданных параметров качества поверхностей при шлифовании практически исчерпало свои возможности и требует детализированного изучения этих технологических операций как системы, отражающей взаимодействие состояний $Z(\tau)$.

Необходимое качество обработки изделий в настоящее время чаще всего обеспечивается не адекватным математическим описанием объекта и управлением, а избыточными затратами технологических ресурсов (времени обработки, применением дополнительных доводочных процедур, нерациональным расходом материала круга и т.п.).

Решение задачи об оценке неизменяемых параметров может быть обеспечено примени-

ем подхода, основанного на применении схем со «стохастическим наблюдателем», где оценка неизменяемых компонент производится по результатам моделирования динамики технологической системы, с входным сигналом, соответствующим сигналу управления, поступающему на реальный динамический объект – технологическую систему. Для учета влияния статистических свойств текущих отклонений радиус-векторов шлифовального круга и заготовки необходимо дополнительно к входному сигналу подавать на вход модели системы случайный процесс с такими же стохастическими характеристиками, как у текущего отклонения радиус-вектора шлифовального круга. Соответствующий случайный входной сигнал может быть получен при помощи формирующего фильтра (рисунки 3). Выходная координата формирующего фильтра по своим статистическим параметрам



Рисунок 3 - Схема получения шума с заданными параметрами с помощью формирующего фильтра

Полученные оценки имеют наименьшую из возможных дисперсию (при условии гауссовских шумов измерений) и пригодны для использования в системах управления по отклонению. Такая система должна стабилизировать режимы относительно режимов, задаваемых условиями граничного технологического цикла с минимально допустимыми запасами и учитывать шумы от таких воздействий внешней среды, как волнение водной поверхности, передаваемое через палубу плавучей мастерской технологическому оборудованию.

Таким образом, для решения проблемы обеспечения стабильности заданных параметров качества поверхностей при чистовом шлифовании на оборудовании, работающем в условиях плавучей мастерской, необходимо на основе полученных динамических моделей и оценок разработать автоматическую систему для стабилизации параметров технологической системы с учетом воздействий внешней среды, в частности волнений водной поверхности.

Для разработки модели поведения шлифовального круга и заготовки в процессе обработки используем известное математическое описание процесса, характеризующего взаимодействие шлифовального круга и заготовки [2].

Проведенный анализ, и декомпозиция системы станка позволили выявить подсистемы и связи между ними, вызывающие колебания объ-

соответствует параметрам компоненты динамической системы, характеризующей процессы воздействия шлифовального круга на заготовку в процессе шлифования. Для настроек формирующего фильтра используются результаты статистической обработки профилограмм рабочей поверхности шлифовального круга, так называемая схема «динамического наблюдателя». Однако с течением времени значения переменных и их оценок наблюдателем неизбежно расходятся вследствие, например, отличий действительных значений отклонений радиус-векторов и их моделей. Целесообразно использование блока подстройки состояний наблюдателя в форме фильтра Калмана-Бюсси, который осуществляет необходимую коррекцию входных сигналов, обеспечивая минимально возможное значение среднеквадратического отклонения.

екта под действием сил динамических воздействий [1, 3].

Для определения динамических характеристик несущей системы станка необходимо дополнительно исследовать влияние на динамику станка морского волнения, в качестве внешних сил действующего на плавучее основание плавучей мастерской.

В процессе ее функционирования на плавучее основание воздействуют возмущающие силы ветра, течения и морского волнения. Воздействие ветра может быть оценено путем измерения скорости и направления ветра румбоанемометрами, установленными на плавучем основании, и расчета аэродинамических сил по известным соотношениям:

$$\begin{aligned} I'_{XB} &= C_{XB}(\beta) \rho_B S_{XB} v_B^2 / 2; \\ F_{YB} &= C_{YB}(\beta) \rho_B S_{YB} v_B^2 / 2; \\ M_{ZB} &= C_{MB}(\beta) \rho_B S_{YB} L_B v_B^2 / 2. \end{aligned} \quad (4)$$

где C_{XB} , C_{YB} , C_{MB} – аэродинамические коэффициенты плавучего основания – функции от угла ветра β ; ρ_B – удельная плотность воздуха; v_B – скорость ветра относительно плавучего основания; S_{XB} , S_{YB} , L_B – эффективные площади сопротивления и характерная длина судна.

Параметры S_{XB} , S_{YB} , L_B , $C_{XB}(\beta)$, $C_{YB}(\beta)$, $C_{MB}(\beta)$ могут быть с достаточной точ-

ностью определены при испытаниях масштабных моделей и уточнены при экспериментах.

Скорость ветра определяется суммой следующих составляющих

$$U_B = U_{BO} + U_{TO} + U_{TB}, \quad (5)$$

где U_{BO} – средняя скорость ветра; U_{TO} – турбулентная составляющая; U_{TB} – волновая составляющая.

Как турбулентная, так и волновая составляющие являются стационарными центрированными функциями времени. Волновая составляющая скорости ветра определяется морским волнением. Ее корреляционная функция практически совпадает с соответствующей характеристикой волновых ординат, отличаясь дисперсией.

Воздействие морского волнения на плавучее основание сказывается в форме горизонтально-продольных колебаний, горизонтально-поперечных колебаний, вертикальных перемещений, бортовой и килевой качки, а также рыскания. Соотношения между видами качки зависят как от параметров плавучего основания, так и от его расположения относительно генерального направления бега волн. Соотношения между различными видами качки и их амплитуды для плавучего основания, удерживающегося в заданной точке или перемещающегося предельно малым ходом зависят от курсового угла и эффективного угла волнового склона:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_0 \sin x, \quad (6)$$

где x – курсовой угол волны относительно направления её распространения; ε_0 – угол волнового склона в заданной точке.

Морское волнение являет собой суперпозицию большого числа плоских (двумерных) волновых систем, распространяющихся под различными углами к генеральному направлению бега волн. Последнее, в случае ветров постоянного направления, через 4...6 ч совпадает с направлением ветра. В достаточно удаленных от берегов районах в условиях действия ветра постоянной интенсивности наблюдается развитое морское волнение. Поведение ординаты волнового профиля в любой заданной точке развитого морского волнения характеризуется случайной стационарной центрированной функцией $r_B(t)$ с нормальным законом распределения.

Математическое описание ветрового волнения производится на основе обработки и аппроксимации экспериментальных данных по спектру волнения, например:

$$S(w) = Aw^{-5} \exp(-Bw^4), \quad (7)$$

где $A = 8,1 \cdot 10^{-3} g^2$, $B = 3,11 \cdot h_{1/3}^2$, g – ускорение силы тяжести в заданной точке; $h_{1/3}^2$ – высота волны обеспеченности; w – угловая частота волнения.

Для задач синтеза системы автоматического управления и входящих в их состав измерительных подсистем необходимо построение формирующих фильтров, позволяющих получать на выходе процессы с заданными характеристиками, что является целью настоящей работы. Такие фильтры известными методами могут быть достаточно просто построены для процессов, характеризуемых спектральными плотностями с дробно-рациональным описанием. Аппроксимация спектров двумерного морского волнения, удовлетворяющего указанным требованиям, имеет вид:

$$S_r = \frac{2D_r \alpha (\alpha^2 + \beta^2)}{w^4 + 2(\alpha^2 - \beta^2)w^2 + (\alpha^2 + \beta^2)} \quad (8)$$

где D_r – дисперсия волновой ординаты, m^2 ; $D_r = 0,143(0,5 \cdot h_{3\%})^2$; $\alpha = 0,21\beta$; $h_{3\%}$ – высота волны 3 % обеспеченности, m .

Высота волны 3 % обеспеченности определяется степенью морского волнения в соответствии со шкалой ГУ ГМС (Регистра), часть которой для наиболее важного диапазона условий, которые могут встретиться при производстве работ плавучей мастерской, приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Шкала степени морского волнения

Степень волнения	Высота волны, $h_{3\%}, m$	Характеристика волнения
1	0...0,25	Слабое
2	0,25...0,75	
3	0,75...1,25	
4	1,25...2,0	Значительное
5	2,0...3,5	
6	3,5...6,0	

Согласно тем же источникам продольно-горизонтальные силы и соответствующие им смещения, вызываемые морским волнением, для достаточно удлиненных судов малы и обычно не учитываются. При определении главной части возмущающих сил корпуса таких судов могут быть представлены профилем крыла малого удлинения. Численный анализ показывает, что даже при волнении высотой 6 м (6 баллов), продольные смещения судов не превышают единиц сантиметров. Достаточно удлиненными считаются суда с отношением длины к ширине корпуса больше четырех. Плавучие мастерские отно-

сятся именно к таким типам вследствие большой длины плавучего основания.

Редукционные коэффициенты могут быть определены либо путем испытания масштабных моделей в опытовых бассейнах, либо путем интегрирования расчетных полей давления во взволнованной жидкости.

Проведенные мероприятия и дополнительные теоретические и практические исследования процесса шлифования с учетом воздействия на оборудование внешней среды (в виде морского волнения) через корпус плавучего основания мастерской, позволили создать новые конструкции виброизолирующей опоры (рисунок 4) и виброизолирующего устройства металлорежущего станка (рисунок 5). В связи с тем, что при работе станка частота его собственных колебаний достаточно велика, в гашении как внешних, так и собственных колебаний принимают участие гидравлический демпфер (цилиндр, рабочая жидкость, поршень со штоком) и резиновый элемент с ребрами жесткости, которые обеспечивают также гашение колебаний в горизонтальной плоскости [4].

Виброизолирующее устройство (рисунок 5) повышает надежность виброзащиты металлорежущих станков, установленных и работающих в условиях плавучей мастерской, от внешних колебаний, в том числе и от волнений водной поверхности; упрощает возможность монтажа и

демонтажа технологического оборудования; повышает качество обработки деталей за счет снижения погрешностей их формы путем уменьшения внешних и внутренних колебаний.



Рисунок 4 – Виброизолирующие опоры новой конструкции

Результаты исследований свидетельствуют о повышении качества шлифовальной обработки деталей за счет снижения погрешностей их формы, уменьшения шероховатости и волнистости путем снижения уровней внешних и внутренних колебаний. полученные графические зависимости для волнистости и шероховатости деталей. Пример полученных круглограмм (рисунок 6, а, б) по базовому варианту и с использованием новых виброизолирующих опор подтверждают эффективность проведенных разработок.

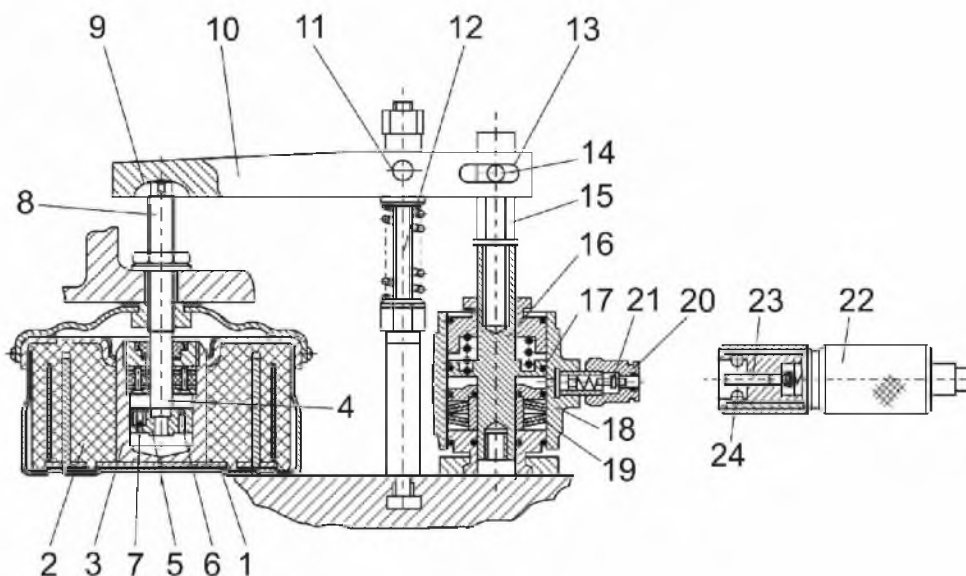


Рисунок 5 – Общий вид виброизолирующего устройства:

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

Улучшается динамическая стабилизация шлифовальной обработки за счет уменьшения внешних и внутренних колебаний, гашению которых способствуют виброизолирующие опоры и пружинные аккумуляторы в гидроцилиндрах.

Такой подход позволил на основе системного анализа процесса, моделирования и оценок,

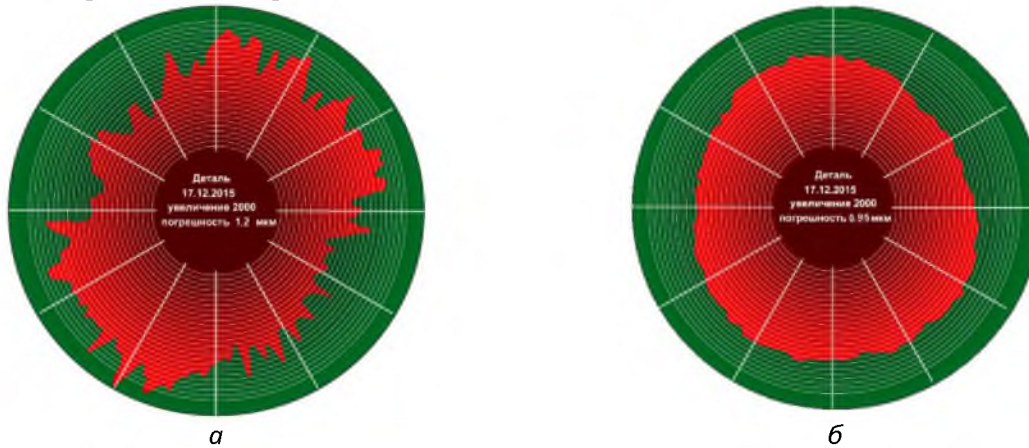


Рисунок 6 – Пример полученной круглограммы по базовому варианту (а) и с использованием новых виброизолирующих опор (б)

Полученные результаты являются основой для дальнейших экспериментальных исследований параметров и характеристик технологической системы круглошлифовального станка в условиях плавучей мастерской.

Литература

1. Владецкая Е.А. Обеспечение качества шлифовальной обработки путем уменьшения внешних возмущений в условиях плавучей мастерской / Е.А. Владецкая, С.М. Братан, А.О. Харченко, Д.О. Владецкий // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – Орел: ФГБОУ ВО «ПГУ», – 2015.– №6 (314). – С.88-103.
2. Владецкая Е.А. Разработка формирующего фильтра, моделирующего динамику морского волнения плавучей ремонтной мастерской / Е.А. Владецкая // *Вісник СевНТУ*. – Вип.150: *Машиноприладобудування та транспорт; зб. наук. пр.* – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2014. – С. 36-40.
3. Харченко А.О. Реакция динамической системы на произвольный сигнал на примере станка в условиях плавучей мастерской / А. Харченко, Е. Владецкая, В. Долгин, С. Братан // *Monografie «Maszyny i procesy produkcyjne» (Машины и производственные процессы)*. – Lublin, Polska: Politechnika Lubelska, 2015. – С. 86-98.
4. Братан С.М. Исследование надежности виброизолирующего устройства шлифовального станка / С.М. Братан, Е.А. Владецкая, // *Наукоемкие технологии в машиностроении*. – Брянск: ФГБОУ ВО «БГТУ», – 2016.– №9 (63). – С. 10-15.
5. Братан С.М. Повышение качества деталей при шлифовании в условиях плавучих мастерских / С.М. Братан, Е.А. Владецкая, Д.О. Владецкий,

исследования влияния на динамику станка морского волнения, решить задачу повышения качества обработки при шлифовании и создать реальные конструкции эффективных вариантов виброизолирующих опор и устройств [5].

А.О. Харченко. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2018. – 154 с.

REFERENCES

1. Vladeckaya E.A. Obespechenie kachestva shlifoval'noj obrabotki putem umen'sheniya vneshnih vozmushchenij v usloviyah plavuchej masterskoj/ E.A. Vladeckaya, S.M. Bratan, A.O. Harchenko, D.O. Vladeckij // *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii*. – Orel: FGBOU VO «PGU», 2015. №6 (314). – S.88-103.
2. Vladeckaya E.A. Razrabotka formiruyushchego fil'tra, modeliruyushchego dinamiku morskogo volneniya plavuchej remontnoj masterskoj / E.A. Vladeckaya // *Visnik SevNTU*. – Vip.150: *Mashinopriladobuduvannya ta transport; zb. nauk. pr.* – Sevastopol': Vid-vo SevNTU, 2014. – S. 36-40.
3. Harchenko A.O. Reakciya dinamicheskoy sistemy na proizvol'nyj signal na primere stanka v usloviyah plavuchej masterskoj / A. Harchenko, E. Vladeckaya, V. Dolgin, S. Bratan // *Monografie «Maszyny i procesy produkcyjne» (Mashiny i proizvodstvennye processy)*. – Lublin, Polska: Politechnika Lubelska, 2015. – S. 86-98.
4. Bratan S.M. Issledovanie nadezhnosti vibroizoliruyushchego ustrojstva shlifo-val'nogo stanka / S.M. Bratan, E.A. Vladeckaya, // *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroe-nii*. – Bryansk: FGBOU VO «BGTU», 2016. №9 (63). – s. 10-15.
5. Bratan S.M. Povyshenie kachestva detalej pri shlifovanii v usloviyah plavuchih masterskih / S.M. Bratan, E.A. Vladeckaya, D.O. Vladeckij, A.O. Harchenko. – М.: Vuzov-skij uchebnik: INFRA-M, 2018. – 154 s.