



**Механика, машины,  
материаловедение и  
технологии  
обработки**

# СИСТЕМА ДОПУСКОВ И ПОСАДОК МНОГООПОРНЫХ УЗЛОВ ПОДДЕРЖКИ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В. А. Санинский, ВПИ (филиал) ВолгГТУ

При сборке парных верхних и нижних вкладышей подшипника скольжения с  $i$ -й и  $j$ -й рядом стоящими коренными опорами картера дизеля погрешности толщины  $\Delta t_{в.вк}$  верхнего вкладыша и  $\Delta t_{н.вк}$  нижнего вкладыша переходят в действительное поле допуска  $TD_{у.в.}$  отверстия образуемой ими условной втулки-подшипника. С целью повышения точности сборки МУПВ предложено ввести диаметральную компенсацию  $f_{д.к.}$  погрешностей отклонений радиусных поверхностей коренных опор и их несоосности относительно соседней опоры разнотолщинностью вкладышей  $\Delta t_{i;j}$  с изменением значения  $D_{у.в.}$  внутреннего диаметра условной втулки-подшипника (рис. 1).

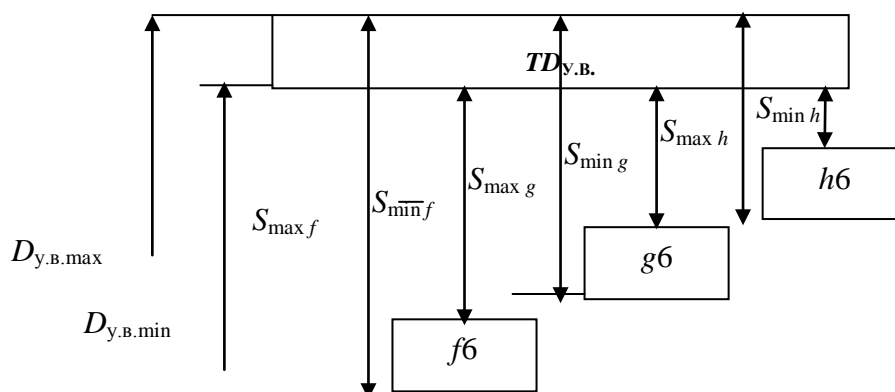


Рисунок 1 – Схема расположения возможных полей допусков коренных шеек и подшипников с варьируемыми полями допусков верхнего и нижнего вкладышей толщиной  $t$

На рисунке 1  $D_{у.в. max}$  – наибольший предельный размер условной втулки-подшипника;  $D_{у.в. min}$  – наименьший предельный размер втулки-подшипника;  $TD_{у.в.}$  – основное отклонение отверстия условной втулки-подшипника, образованной комплектом вкладышей и постелью;  $f6$ ,  $g6$ ,  $h6$ , – основные отклонения диаметров шеек коленчатого вала, соответственно, выбранные по действительным отклонениям толщины вкладышей для варьирования действительными отклонениями шеек и вкладышей при обеспечении зазоров в парах трения;  $S_{min f}$ ,  $S_{min g}$ ,  $S_{min h}$ , – наименьший зазор между поверхностями шеек коленвала и вкладышей для основных отклонений  $f$ ,  $g$ ,  $h$ , шеек, соответственно;  $S_{max f}$ ,  $S_{max g}$ ,  $S_{max h}$ , – наибольший радиальный зазор между поверхностями шеек коленчатого вала и вкладышей для основных отклонений  $f$ ,  $g$ ,  $h$ , шеек, соответственно.

Величины приведенного внутреннего диаметра условной втулки-подшипника, имеющего предельные размеры (1), (2) обеспечивают нормирование точности соединения условной втулки-подшипника и шейки и допуски посадки в соединении.

$$D_{у.в. пр \max} = D_{о \max} - 2Td_t ; \quad (1)$$

$$D_{у.в. пр \min} = D_{о \min} - 2Td_t , \quad (2)$$

где  $D_{о \max}$ ,  $D_{о \min}$  – максимальный и минимальный размеры постели по сборочному чертежу картера;  $Td_t$  – поле допуска толщины верхнего и нижнего вкладыша по чертежам.

Поле допуска условной втулки подшипника  $TD_{у.в}$  узла равно:

$$TD_{у.в.} = D_{у.в. пр \max} - D_{у.в. пр \max} \quad (3)$$

$$\text{или} \quad TD_{у.в.} = 2Td_t + TD_o , \quad (4)$$

где  $Td_t = Td_{тв} + Td_{тн}$ ,  $TD_o$  – поле допуска отверстия постели картера;  $Td_{тв}$ ,  $Td_{тн}$  – допуски толщины верхнего и нижнего вкладышей по чертежу.

Приведенный действительный внутренний диаметр  $D_{у. пр. д}$  для внутренней поверхности условной втулки – подшипника

$$D_{у в пр.д.} = D_{о \text{ изм.}} - f_{д.к.}, \quad (5)$$

где  $D_{о \text{ изм}}$  – измеренные (действительные) значения отверстия постели;  $f_{д.к.}$  – диаметральной компенсация погрешности диаметра и расположения отверстия постели относительно общей оси крайних отверстий ГПО:

$$f_{д.к.} = f_D + f_{нс} = \Delta t_{в \text{ изм.}} + \Delta t_{н \text{ изм.}}, \quad (6)$$

где  $f_D$  – диаметральной компенсация разницы диаметров соседних отверстий ГПО;  $f_{нс}$  – диаметральной компенсация несоосности  $\Delta_{н.с.}$  соседних отверстий постелей относительно общей оси ГПО;  $\Delta t_{в \text{ изм.}}$ ,  $\Delta t_{н \text{ изм.}}$  – измеренная погрешность толщины верхнего и нижнего вкладышей.

Получаемые в соединении поверхностей трения подшипника и коренной шейки коленчатого вала предельные зазора определяются разностью предельных значений приведенных диаметров.

$$S_{пр \max} = D_{у.в. пр \max} - d_{к.ш. \min}; \quad (7)$$

$$S_{пр \min} = D_{у.в. пр \min} - d_{к.ш. \max}. \quad (8)$$

Для автоматизированной компенсации различия диаметров постелей на основе стабилизации диаметров соседних подшипников  $\Delta D_n$  компьютерной сборкой предложено значения толщин их вкладышей выбирать в среде КОМПАС 3D по рассчитанным средним величинам продольного сечения.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТВЕРДОСТИ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ВЕРОЯТНОСТИ ВИДОВ ИЗНАШИВАНИЯ ВЕРШИН ЗЕРЕН КРУГА

Носенко В. А., Даниленко М. В.

Износ является приоритетным показателем шлифования потому, что во многом определяет расход абразивного инструмента, качество обработанной поверхности изделия и производительность процесса. Поэтому изучение изнашивания считается наиболее актуальным научным направлением.

При разработке математических моделей износа абразивного инструмента необходимо количественно оценить возможность протекания каждой из разновидностей изнашивания и определить её вклад в суммарный износ. В связи с этим актуальной задачей является определение вероятностей видов изнашивания вершин зерен, контактирующих с обрабатываемым материалом при шлифовании.

Виды изнашивания объединены в три разновидности: вырывание зерен из связки, скалывание и истирание вершин. Рассмотрим процесс изнашивания рабочей поверхности круга при шлифовании. Под действием силы резания  $R_z$ , возникающей в некотором слое рабочей поверхности круга, часть зерен будут вырваны, некоторое количество вершин может быть разрушено в результате скалывания, остальные зерна будут изнашиваться истиранием, что определяется соответственно вероятностями  $P_B$ ,  $P_C$  и  $P_I$ .

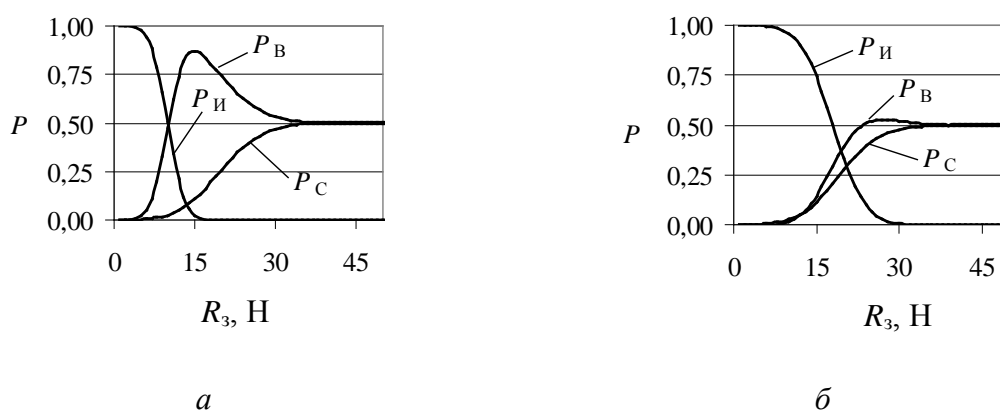


Рисунок 1 – Изменение вероятностей видов изнашивания зерен шлифовального круга:

а – твердость К; б – твердость N

На рисунке 1 представлены результаты расчетов вероятностей видов изнашивания в зависимости от силы контактного взаимодействия для шлифовального круга из электрокорунда белого зернистости F60 на бакелитовой связке различной твердости.

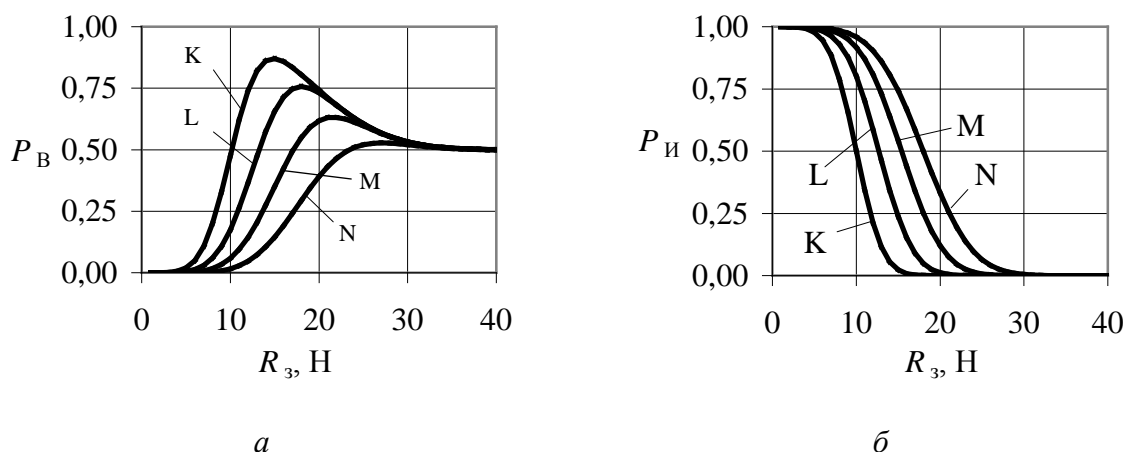


Рисунок 2 – Изменение вероятности изнашивания вырыванием  $P_B$  (а) и истиранием  $P_C$  (б) зерен шлифовального круга из электрокорунда белого зернистости F60 на бакелитовой связке в зависимости от силы контактного взаимодействия  $R_з$  при различной твердости инструмента

#### Выводы.

С использованием экспериментальных данных по прочности абразивных зерен и нагрузки разрушения рабочей поверхности круга в результате скалывания и вырывания исследованы закономерности изменения вероятностей различных видов изнашивания от нагрузки, действующей на вершину зерна, для шлифовальных кругов различной степени твердости на бакелитовой связке.

С увеличением нагрузки на вершину зерна вероятность истирания плавно снижается практически от единицы до нуля. Вероятность скалывания плавно возрастает от 0 до 0,5. Вероятность вырывания вначале возрастает, затем снижается, плавно приближаясь к значению 0,5, т.е. имеет максимум, который в зависимости от твердости круга располагается в диапазоне от приближающегося к единице до 0,5.

Установлено, что твердость инструмента не влияет на вероятность скалывания вершин зерен. Вероятность истирания увеличивается, а вероятность вырывания зерен уменьшается на ту же величину с ростом твердости круга.

С увеличением твердости круга максимальное значение вероятности вырывания снижается, смещаясь в сторону больших значений нагрузки.

# ДИНАМИКА УДАЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА В ЗОНЕ КОНТАКТА ПРИ ГЛУБИННОМ ШЛИФОВАНИИ

В. А. Носенко, А.И. Савин, ВПИ (филиал) ВолгГТУ

Для анализа процесса формообразования рассмотрим в граничной области обрабатываемый материал – поле произвольную точку  $M(x, y, z)$ , рисунок 1.

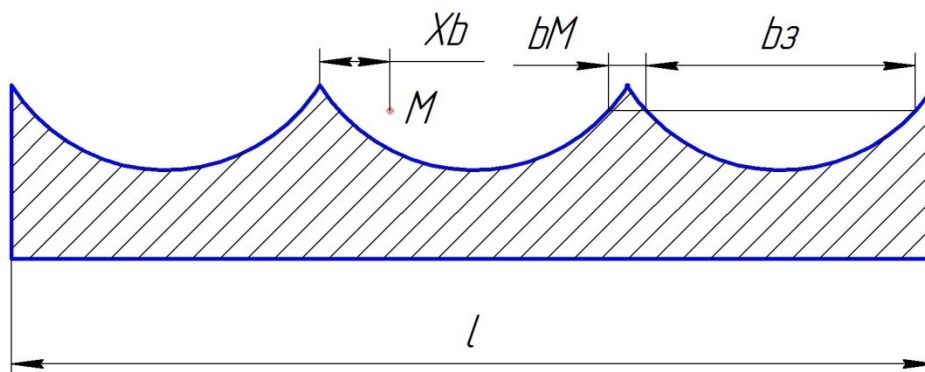


Рисунок 1 – Схема граничного слоя материал среда

Для каждой такой точки можно говорить о двух событиях: о событии, что материал в этой точке будет удален или что материал в точке останется не удаленным. Каждое событие случайно и имеет определенную вероятность. Сумма вероятностей равна единице. Если начало координат совместить с вершиной одного из выступов шероховатости, то при постоянстве формы единичных рисок, их глубины и равенстве расстояний между ними вероятность удаления металла будет функционально зависеть от координаты  $X$ .

Если профиль обработанной поверхности стационарен и относительно начала координат жестко не закреплен, то вероятность удаления металла представляется прямой, параллельной оси  $X$ , а величина вероятности определяется по отношению суммы длин отрезков  $b_{Mi}$ , заполненных металлом к длине сечения  $l$

$$P(M) = 1 - \lim_{l \rightarrow \infty} \frac{\sum_i b_{Mi}}{l} \quad (1)$$

Поскольку  $\sum_i b_{Mi}$  при  $l \rightarrow \infty$  стремится к  $\lambda M[bM]$ , уравнение (1) может быть записано в виде

$$P(M) = 1 - \lambda M[bM] \quad (2)$$

Где  $\lambda$  - математическое ожидание числа выступов на единицу длины сечения.

А математическое ожидания выступа вычисляется по уравнению:

$$M[bM] = \int_{b_2}^{\infty} (l_{TP} - b_2) f(l_{TP}) dl_{TP} = \frac{1}{\lambda} e^{-\lambda b_2} \quad (3)$$

Тогда при подстановке (3) в (2), получим что:

$$P(M) = 1 - e^{-\lambda b_3} = 1 - e^{-\alpha} \quad (4)$$

Следовательно нашей задачей является определение  $\lambda$  - математическое ожидание числа выступов на единицу длины сечения и их ширину, для этого необходимо знать какое количество зерен проходит через любое сечение за произвольный промежуток времени.

Рассматриваем глубинное шлифование и считаем, что процесс съема материала установился, можно получить следующую картину (рис 2), выберем сечение под произвольным углом  $\alpha$ , который удовлетворяет условию  $0 \leq \alpha \leq \arctg\left(\frac{R-t}{\sqrt{2Rt-t^2}}\right)$ , в первоначальный момент времени наиболее удаленные зерна от периферии круга находятся на поверхности обрабатываемого материала и не заглубляются в него по глубине (рисунок 3) (исходная шероховатость равна нулю).

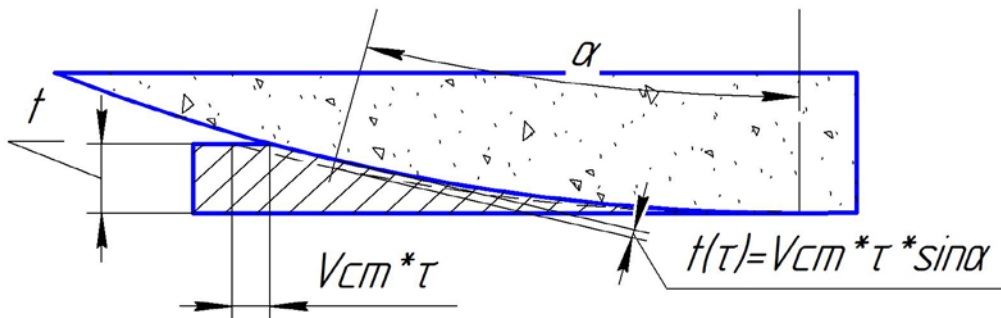


Рисунок 2

Положение зерна определяется по его вершине и для того чтобы представить эту вершину используем параболу с течением времени материал наползет на абразивный круг на величину равную  $V_{ст} * \tau$ , эта величина справедлива для любого сечения.

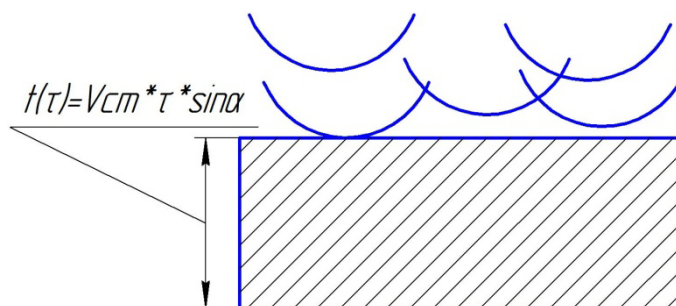


Рисунок 3 – Зона контакта детали с кругом в первоначальный момент времени

Тогда для заданного угла

Тогда для данного угла  $\alpha$  абразивный круг внедрится на величину:

$$t(\tau) = V_{ст} * \tau * \sin(\alpha) \quad (5)$$

В результате (рисунок 3) будет выглядеть следующим образом (рисунок 4),

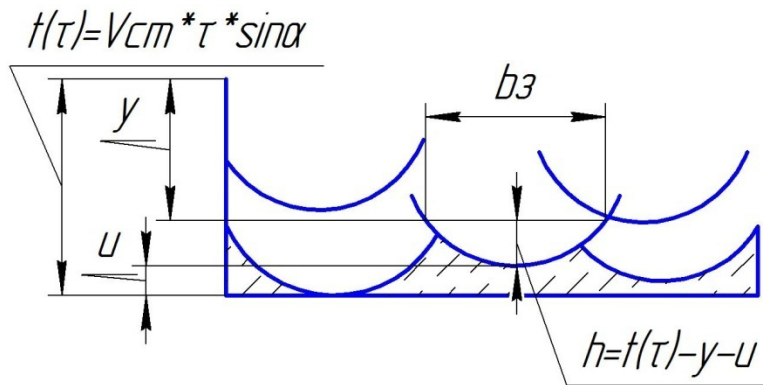


Рис. 4 Зона контакта детали с кругом по пришествию времени  $\tau$ .

для фиксированного положения в зоне контакта обрабатываемый материал на уровне  $y$  будет удаляться только теми абразивными зернами, вершины которых по глубине инструмента находятся в слое  $(0 \div y)$ . Выделим из них зерно с координатой вершины  $y \geq u \geq 0$ . При прохождении через сечение его профиль пересекается уровнем  $y$  на расстоянии  $h = t(\tau) - y - u$ , от вершины. Ширина профиля, соответствующая данному уровню, при моделировании профиля параболой вычисляется:

$$b_z = C_b [t(\tau) - y - u]^m \quad (6)$$

где  $C_b$  и  $m$  коэффициент и показатель степени параболы.

За время  $\Delta t$  через сечение проходит участок круга с длиной дуги  $[V_{кр} + V_{ст}] * \Delta t$ . Из общего числа зерен, прошедших через сечение, ширину профиля  $b_z$  будут иметь абразивные зерна, вершины которых расположены в слое круга  $\Delta u * [V_{кр} + V_{ст}] * \Delta t$ , число таких вершин вычисляется по плотности их распределения  $f_u(u)$ .

Для математического описания распределения вершин зерен по глубине предлагается применять показательную зависимость:

$$f_u(u) = C_f u^{x-1}$$

где  $C_f$  – коэффициент, вычисляемый из условия равенства единицы площади, ограниченной кривой распределения.

$$C_f = \frac{x}{H_u^x}$$

где  $H_u$  – величина слоя рабочей поверхности круга по глубине, в пределах которого подсчитывается число абразивных зерен  $n$ .

С учетом всех преобразований математическое ожидание числа выступов на единицу длины сечения примет вид:



$$\Delta\lambda = n \left[ \frac{x}{R_{\text{ш}}} u^{x-1} \right] [\Delta u * [V_{\text{кр}} + V_{\text{стр}}] * \Delta\tau] \quad (7)$$

Изменение параметра  $\alpha$  определяется приращением суммы попеременных размеров профилей абразивных зерен и вычисляется:

$$\alpha = \Delta\lambda b_3 Kc = Kc [C_b [t(\tau) - y - u]^m] \left[ n \left[ \frac{x}{R_{\text{ш}}} u^{x-1} \right] [\Delta u * [V_{\text{кр}} + V_{\text{стр}}] * \Delta\tau] \right] \quad (8)$$

Далее необходимо перейти от дискретной модели к непрерывной и получить интегральное уравнение, определяющее изменение параметра вероятности в зоне контакта детали с кругом. Что в ближайшее время и будет сделано.

## **СВЯЗЬ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ОПОРНОЙ ДЛИНЫ И СРЕДНЕГО АРИФМЕТИЧЕСКОГО ОТКЛОНЕНИЯ ВЫСОТЫ ПРОФИЛЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ**

Носенко В.А., Белухин Р.А., ВПИ (филиал) ВолгГТУ

Шероховатость - важнейший показатель качества рабочей поверхности деталей. В условиях работы детали на износ огромную роль играет показатель опорной длины профиля шероховатости поверхности  $t_p$ , оказывающий влияние на износостойкость, прочность и долговечность. Большинство приборов для измерения шероховатости не имеют возможности определять  $t_p$ , а измеряют лишь основные параметры шероховатости  $R_a$ ,  $R_{\text{max}}$ ,  $R_z$ ,  $S_m$ .

В связи с этим цель данной работы заключалась в установлении взаимосвязи между параметром  $t_p$  и средним арифметическим отклонением профиля  $R_a$ .

Исследовали изменение относительной опорной длины профиля шероховатости поверхности в процессе плоского врезного шлифования нержавеющей стали X18H10T кругом характеристики 25AF90J12V. Шероховатость обработанной поверхности измеряли на всем этапе шлифования прибором «Сейтроник ПШ8-3» в 20 сечениях по длине шлифованной поверхности, на длине базовой поверхности 2,5 мм. Относительную опорную поверхность  $t_p$  измеряли на 11 относительных уровнях сечения профиля шероховатости  $p$ .

Исследование тесноты корреляционной связи между  $R_a$  и  $t_p$  на различных относительных уровнях сечения профиля  $p$ , показало отсутствие единой взаимосвязи исследуемых параметров на различных этапах шлифования.

После перехода с относительного уровня сечения профиля  $p$  (рис. 1 а) к абсолютному уровню  $p_a$  (рис. 1 б), графики имеют прямую пропорциональную зависимость:

$$t_p = k_{tp} p_a, \quad (1)$$

где  $k_{tp}$  – коэффициент пропорциональности.

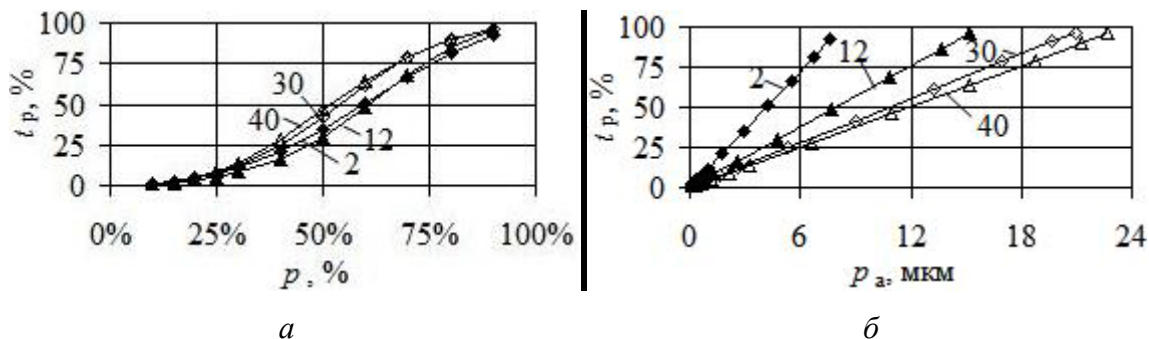


Рисунок 1 – Относительная опорная длина профиля  $t_p$  в зависимости от уровня сечения:

а – относительный, б – абсолютный

Исследование коэффициента пропорциональности в зависимости от продолжительности этапа шлифования, показало обратную взаимосвязь  $k_{tp}$  с параметром шероховатости  $R_a$ . График зависимости этих параметров (рис. 2.), описывается степенной корреляционной функцией (2).

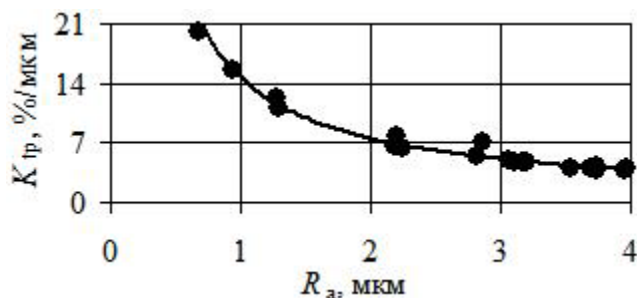


Рисунок 2 – зависимость коэффициента пропорциональности  $k_{tp}$  от среднего арифметического отклонения профиля  $R_a$

$$k_{tp} = 14,71R_a^{-0,97} \quad (2)$$

Объединив формулу (1) и (2), получим обобщенную формулу для расчета относительной опорной длины профиля шероховатости поверхности:

$$t_p = 14,71R_a^{-0,97} p_a \quad (3)$$

Значения относительной опорной длины профиля, рассчитанные по формуле (3) имеют высокую степень достоверности:

$$S(t_p) = 85\% ^2, \varepsilon_{mdl} \approx 6\% ,$$

где  $S^2(t_p)$  – дисперсия неадекватности,  $\varepsilon_{mdl}$  – среднее относительное отклонение.

Установленная зависимость между исследуемыми параметрами  $t_p$  и  $R_a$ , выраженная формулой (3), позволяет рассчитать относительную опорную длину профиля шероховатости шлифованной поверхности на любом абсолютном уровне сечения профиля  $R_a$ , зная только значение среднего арифметического отклонения профиля, при плоском шлифовании нержавеющей стали X18H10T кругом характеристики 25AF90J12V на станке модели 3Г71 и величиной подачи 20 мкм/ход с использованием в качестве СОЖ 3% раствор эмульсола «Волгол 300».

## **О ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КРУГОВ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ НА ПРИБОРЕ «ЗВУК – 110М»**

В.А. Носенко, А.П. Митрофанов, ВПИ (филиал) ВолгГТУ

Акустический метод контроля твёрдости абразивного инструмента основан на определении скорости распространения акустических волн, которая тесно связана с рецептурными характеристиками инструмента и его эксплуатационными показателями.

Измерение твердости осуществляли с помощью прибора "Звук-110М", предназначенного для измерения частот собственных колебаний (ЧСК), определения скорости распространения акустических волн и твердости по ГОСТ 25981. Принцип действия прибора основан на возбуждении в изделии вынужденных колебаний пьезоэлектрическими преобразователями и фиксировании резонансной частоты, соответствующей ЧСК изделия.

Гарантированная точность при измерении твердости абразивного инструмента акустическим методом прибором "Звук-110М" равняется  $\pm 3 \%$  от приведенной скорости звука. Что составляет например для круга твердости К из электрокорунда на керамической связке соответствует значению приведенной скорости звука, находящийся в диапазоне 4600 – 4800 м/с, погрешность  $\pm 141$  м/с. В этом случае с учетом погрешности измерения от середины диапазона можно получить  $c_1$  от 4559 до 4841 м/с, что соответствует двум твердостям К и L. Такая ошибка в измерении твердости определяется только принятой, согласно ГОСТ Р 52710 инструментальной погрешностью прибора "Звук-110М". Если учесть возможную неоднородность плотности материала инструмента и т.д., ошибка измерения будет ещё выше. Тогда встает вопрос вообще о целесообразности такого метода контроля.

В связи с этим была поставлена задача определения действительной погрешности измерения приведенной скорости звука на приборе "Звук-110М".

Для этого необходимо комплексно решить две задачи, это установить величину инструментальной погрешности, а именно ее случайной составляющей и провести исследование влияние способа установки контролируемого изделия на точность измерения.

Чтобы определить оптимальный способ установки контролируемого изделия и наблюдаемую при этом погрешность, произвели серии экспериментов, изменяя способы установки эталона относительно принятой схемы, где измерения проводят по диаметру круга в двух противоположенных частях круга, находящихся на линии дисбаланса. Измерения проводили смещая точки зажима эталона относительно линии дисбаланса по высоте эталона и диаметрально, так же изменяя усилие прижима которое выражается через величину хода пьезоэлектрического преобразователя Главным критерием оценки являлись дисперсия полученных результатов, свидетельствующая о разбросе значений твердости и средние значения скорости звука.

Результаты измерений подверглись статистической обработке. Дисперсии однородны, и различия в средних значениях не обнаружено, кроме случая, когда усилия прижима изменяются.

Наиболее значимо в пределах однородности, на дисперсию значений измерений влияет смещение точек зажима эталона по высоте круга, менее существенно влияет смещение относительно диаметральной оси. Однако так же значительно на дисперсию влияет и переустановка эталона при измерениях.

В ходе проведенного анализа выяснилось, что усилие прижима наиболее значительно влияет на дисперсию и средние значения скорости звука (при максимальных усилиях средние значения не однородны), поэтому было проведено дополнительное исследование, с целью обнаружить существует ли закономерность между значениями дисперсий и усилием прижима.

По результатам исследования такая закономерность была обнаружена и она довольно хорошо аппроксимируется полиномиальной функцией 2 – го порядка:

$$y = 35,525 x^2 - 220,37 x + 391 \quad (1)$$

где  $x$  – ход пьезоэлектрического преобразователя, мм

Для определения случайной составляющей инструментальной погрешности прибора "Звук-110М", были проведены измерения твердости эталона по девять замеров в пяти сериях. Дисперсии однородны, значимого отличия в средних значениях не обна-

ружено. Следовательно, выборки можно объединить и определить общие статистические показатели.

В таблице 1 приведены результаты измерений эталона при разных условиях эксперимента. Проведя сравнение дисперсии и средних значений и, обнаружив, однородность выборок, в последующем объединив их в общую выборку, мы определили действительную инструментальную погрешность измерения равную  $\delta = 0,043 \%$ .

Таблица 1

Измерение эталона	$C_1$ , м/с	$S^2$ , м <sup>2</sup> /с <sup>2</sup>	$\Delta x$ , м/с	$\delta$ , %
С учетом смещений	5430	108	3,4	0,06
В произвольном порядке	5427	103	3	0,06

Таким образом, действительная погрешность измерения твердости прибором "Звук-110М" на порядок меньше заявленной в ГОСТе. Тем не менее, при измерении твердости большое значение на точность оказывает усилия прижима контролируемого изделия.

## **МЕТОДИКА СНИЖЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ЗЕРЕН ОПТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ**

Макушкин И.А., Носенко В.А., ВПИ (филиал) ВолгГТУ

В настоящее время для контроля параметров шлифовального зерна, используемого в микрошлифпорошках, по ГОСТу используется микроскопический метод. При этом определяются линейные размеры зерен по их наибольшей ширине и распределение зерен по фракциям, выражаемом в проценте по массе. Большая часть работы выполняется человеком вручную на микроскопе, что может привести к возникновению погрешностей и неточностей измерения, большому времени проведения измерений и прочее. Для устранения подобных недостатков было предложено использовать воспользоваться компьютерными методами распознавания фотографических изображений зерен. Компьютерный анализ фотографических изображений зерен позволит дополнительно производить определение таких параметров зерна как коэффициент формы, количество режущих кромок зерна, их радиус и прочее.

Метод определения геометрических параметров зерна по его фотографическому изображению связан с последовательным выполнением операций. Каждая из них вносит свои погрешности в итоговый результат.

Первый этап преобразования – этап оцифровки изображения, дискретизации аналогового сигнала, получаемого с микроскопа. После этого этапа изображение зерна состоит из набора пикселей. При этом фактически контур зерна находится внутри зоны, ограниченной одним пикселем, потому на этом этапе погрешность принимается равной 0.5 пикселя.

Второй этап – вычисление градиента изображения. Как было показано выше, операция градиента вычисляется на группе пикселей, что может привести фактически к смещению границы на 1 пиксель.

Третий этап – векторный анализ. При этом в некоторых случаях вектор может отклоняться от фактического контура. Причем, чем больше длина вектора, тем сильнее возможное отклонение. При этом необходимо помнить, что изображение может хранить как мелкие детали зерна, которые необходимо учитывать, так и помехи, о которых необходимо избавиться. При этом вектор с малой длиной позволяет точнее учитывать именно мелкие детали, в то время как вектор с большой длиной позволяет получить более сглаженное изображение, минимизируя тем самым влияние помех. Поэтому задача выбора длины вектора носит достаточно нетривиальный характер.

Суммируя вышесказанное, можно записать следующее

$$\text{Погрешность} = (0,5 + 1 + L/4) * 2$$

где L – выбранная длина вектора.

При этом величина погрешности – абсолютная величина и измеряется в пикселях.

Для снижения погрешности можно предложить следующие действия:

1. Получение снимков зерен при установке больших значений увеличения микроскопа. Однако увеличение должно быть подобрано так, чтобы была возможность получения цельного изображения зерна на одном снимке.

2. Использование оптического датчика с большей чувствительностью и разрешающей способностью. При этом фактически зерно будет включать большее количество пикселей и снизит относительную погрешность. Но, с другой стороны, приведет к увеличению количеству информации и большей вычислительной нагрузки на систему.

Использование этих методов позволит снизить относительную погрешность и держать её для измеряемых зерен в пределах менее 1 %.

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ АРМИРОВАННЫХ ПЛАСТИКОВ**

В. Н. Тышкевич, ВПИ (филиал) ВолгГТУ

Основное преимущество армированных пластиков (АП) – высокие удельные прочность и жесткость, поэтому трубопроводы из армированных пластиков применяются, в первую очередь, в конструкциях, для которых критерием оптимизации является масса конструкции. Это – авиационная и космическая техника. Но указанные удельные механические характеристики являются анизотропными и при проектировании трубопроводов необходимо решать задачу оптимального армирования.

Трубопроводы представляют собой обычно многократно статически неопределимые системы нерегулярной структуры. Для трубопроводов из металлов расчет на прочность проводят в два этапа. На первом этапе выбирают размеры поперечных сечений труб, исходя из условий производительности и прочности. На этом этапе еще неизвестны внутренние усилия, поэтому расчет ведется по внутреннему давлению. Этот этап расчета регламентирован соответствующими нормативными документами. Пространственная конфигурация обычно определяется компоновкой конструкции.

На втором этапе расчета раскрывают статическую неопределимость, определяют внутренние усилия, возникающие от внешних воздействий. После определения внутренних усилий проводят анализ напряженно-деформированного состояния в наиболее опасных сечениях и оценку прочности. При невыполнении условий прочности производятся местные усиления. Расчет должен быть итерационным, учитывая особенность статически неопределимых систем, заключающуюся в том, что усилия в элементах зависят от их жесткости. Таким образом, здесь реализуется схема проверочного расчета на прочность.

Предлагаемая методика проектирования трубопроводов из АП представлена общей блок-схемой (рисунок 1).



Рисунок 1 – Общая блок-схема расчета

При вычислении упругих характеристик слоистого композиционного материала за основной элемент принимается ортотропная полоска с экспериментально определенными характеристиками жесткости. Слоистый пакет по толщине предполагается симметричным.

Расчеты на прочность при статическом и малоцикловом нагружении производятся с использованием феноменологических критериев прочности. При этом необходимые экспериментальные характеристики прочности для элементарного слоя получают на образцах-свидетелях. Для расчетов на малоцикловую усталость необходимы экспериментальные данные тех же характеристик прочности в зависимости от числа



циклов до разрушения.

В методике проверка прочности и определение углов оптимальных углов армирования производится в опасных сечениях как криволинейных, так и прямолинейных участков. Наиболее напряженными и ответственными элементами трубопроводов являются криволинейные элементы, вследствие сложной геометрии поверхности и характерных особенностей их поведения под нагрузкой (эффект Кармана, манометрический эффект).

Оптимальные углы армирования определяются параметрическим анализом по минимуму критериальной функции прочности.

Для исследованных стеклопластиков АГ-4с и на основе ткани Т-10 даны рекомендации по оптимальным углам армирования при различных комбинациях нагрузок в зависимости от кривизны.

#### Литература

1. Багмутов, В. П. Несущая способность криволинейных труб из армированных пластиков при статическом нагружении/ В. П. Багмутов, В. Н. Тышкевич, В. Б. Светличная // Изв. вузов. Авиационная техника. - 2004. - № 4. - С. 71 - 73.

2. Тышкевич, В. Н. Долговечность криволинейных труб из армированных пластиков при малоцикловом нагружении/ В. Н. Тышкевич // Изв. вузов. Авиационная техника. - 2003. - № 2. - С. 67 - 69.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГИБОВ ПРИ ИЗГИБЕ КОЛЕЦ**

В. Н. Тышкевич, С. В. Орлов, ВПИ (филиал) ВолгГТУ

После термообработки подшипниковые кольца приобретают изогнутость торцевых поверхностей. Упругие деформации, возникающие при шлифовании колец, ют на режимы технологического процесса шлифования таких колец. Рассматривается кольцо с начальной изогнутостью лежащее на магнитном столе. Кольцо касается стола в трех точках ( $B, B_1, C$ ), расположенных на равных расстояниях по периметру кольца, и нагружено сосредоточенной силой  $P$  (от действия шлифовального круга) и равномерной нагрузкой  $q$  (действие магнитного поля), перпендикулярными плоскости кольца (рисунок 1). В общем случае главные центральные оси  $z, y$  поперечного сечения наклонены к плоскости кольца (рисунок 2). Вспомогательные центральные оси  $z_c, y_c$  расположены горизонтально и вертикально, соответственно. Предполагается, что кольцо имеет малую кривизну ( $\frac{h}{r} \leq \frac{1}{5}$ ) и является достаточно жестким, что позволяет не учитывать влияние осевых сил на деформацию кольца. Замкнутое кольцо шесть раз статически неопределимо. При заданной нагрузке внутренние силовые факторы (ВСФ) в плоскости кольца отсутствуют.

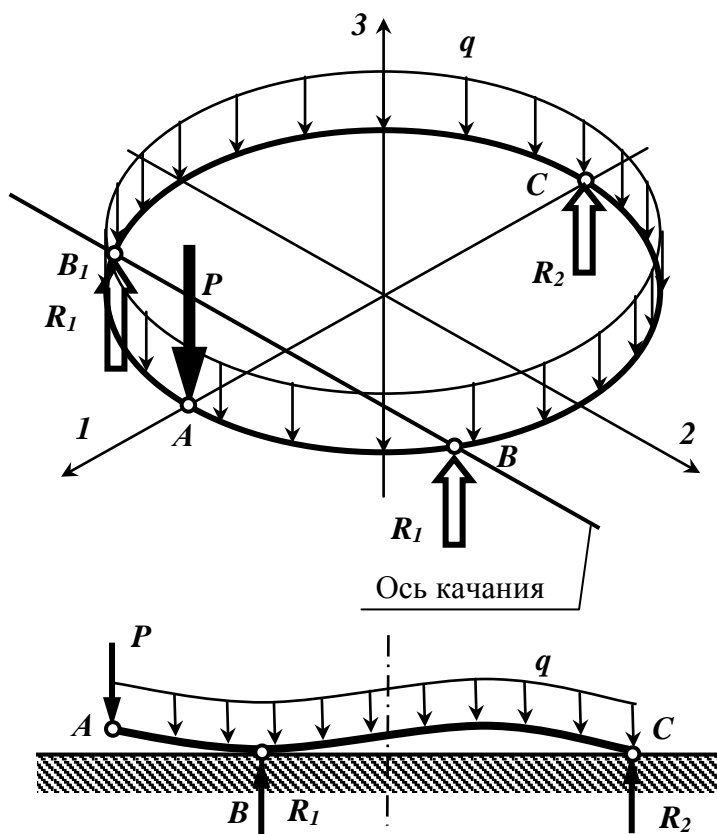


Рисунок 1 – Схема нагружения кольца

Рассматривается кольцо с начальной изогнутостью лежащее на магнитном столе. Кольцо касается стола в трех точках ( $B, B_1, C$ ), расположенных на равных расстояниях по периметру кольца, и нагружено сосредоточенной силой  $P$  (от действия шлифовального круга) и равномерной нагрузкой  $q$  (действие магнитного поля), перпендикулярными плоскости кольца (рисунок 1). В общем случае главные центральные оси  $z, y$  поперечного сечения наклонены к плоскости кольца (рисунок 2). Вспомогательные центральные оси  $z_c, y_c$  расположены горизонтально и вертикально, соответственно. Предполагается, что кольцо имеет малую кривизну ( $\frac{h}{r} \leq \frac{1}{5}$ ) и является достаточно жестким, что позволяет не учитывать влияние осевых сил на деформацию кольца. Замкнутое кольцо шесть раз статически неопределимо.

При заданной нагрузке внутренние силовые факторы (ВСФ) в плоскости кольца отсутствуют.

$$\text{Реакции будут равны: } R_1 = \frac{2}{3}(P + \pi qr); R_2 = \frac{1}{3}(2\pi qr - P).$$

Для раскрытия статической неопределимости разрез кольца расположим в плоскости симметрии – в точке  $A$  (см. рис. 1), тогда кососимметричные ВСФ будут равны нулю и достаточно определить один неизвестный изгибающий момент  $X_1$  [1].

$$X_1 = -\frac{1}{\pi} \frac{\eta_k S_k + (\eta_y - \eta_{zy}^2) C_z}{\eta_y + \eta_k - \eta_{zy}^2};$$

где  $\eta_y = \frac{I_{yc}}{I_{zc}}$ ;  $\eta_{zy} = \frac{I_{yzc}}{I_{zc}}$ ;  $\eta_{\kappa} = \frac{EI_y I_z}{GI_{zc} I_{\kappa}}$ ;  $C_z = \sum_n \int_{\varphi} M_{zc}^P \cos \varphi d\varphi$ ;  $S_{\kappa} = \sum_n \int_{\varphi} M_{\kappa}^P \sin \varphi d\varphi$ .

$M_{zc}^P$ ,  $M_{\kappa}^P$  – изгибающий и крутящий моменты от действия внешней нагрузки в основной системе.

При действии указанной нагрузки максимальный прогиб возникает в точке А. Прогиб определяем методом Мора, прикладывая к основной системе единичную силу (рис. 3). Реакции будут равны:  $R_1^I = \frac{2}{3}$ ;  $R_2^I = -\frac{1}{3}$ .

Прогиб определяется по формуле Мора:

$$w = \frac{2rI_{zc}}{EI_{z_y}} \sum_{i=1}^2 \int_{\varphi_i} [\eta_y M_{zc} M'_{zc} + M_{yc} M'_{yc} + \eta_{zy} (M_{zc} M'_{yc} + M_{yc} M'_{zc}) + \eta_{\kappa} M_{\kappa} M'_{\kappa}] d\varphi,$$

где  $M'_i$  – моменты от действия единичной силы (рисунок 3). Учитывая симметрию нагрузки моменты определяем на двух участках  $0 \leq \varphi_1 \leq \pi/6$  и  $\pi/6 \leq \varphi_2 \leq 5\pi/6$ :

$$M_{zc1}^I = -\frac{1}{2} r \sin \varphi_1; \quad M_{zc2}^I = -\frac{1}{2} r \sin(\varphi_2 + \frac{\pi}{6}) + \frac{2}{3} r \sin \varphi_2;$$

$$M_{\kappa 1}^I = -\frac{1}{2} r (1 - \cos \varphi_1); \quad M_{\kappa 2}^I = -\frac{1}{2} r \left[ 1 - \cos(\varphi_2 + \frac{\pi}{6}) \right] + \frac{2}{3} r (1 - \cos \varphi_2).$$

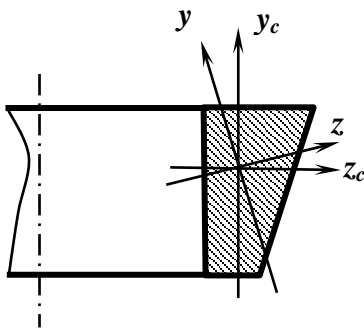


Рисунок 2

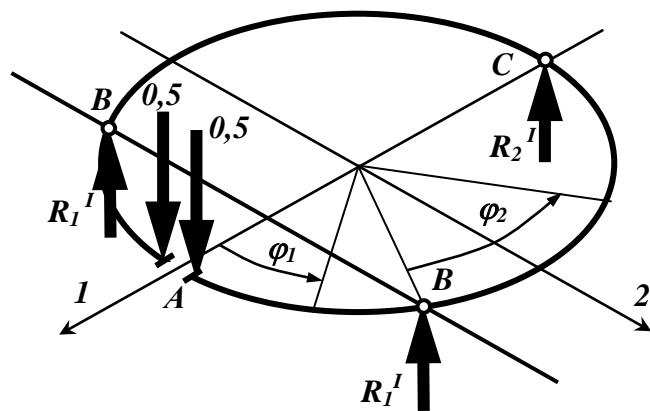


Рисунок 3

Нагрузка симметрична, поэтому интегрирование можно вести в пределах  $0 \leq \varphi \leq \pi$ , результат затем удвоить, также и для внешней нагрузки.

Литература

1. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах. Т. 1/ Под ред. И. А. Биргера, Я. Г. Пановко – М.: Машиностроение, 1988. – 832 с.

**МОНИТОРИНГ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ**

## ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ АВТОБУСОВ

Р. В. Заболотный, ВПИ (филиал) ВолгГТУ

Оснащение современных автобусов тормозными системами антиблокировочными системами (АБС) с принципиально иной организацией рабочего процесса затормаживания, не может не повлиять на режимы работы, на интенсивность изменения параметров технического состояния тормозных систем и других узлов автомобиля, а также на ресурсы и затраты, связанные с содержанием и поддержанием автомобиля в технически исправном состоянии. Поэтому исследование режимов эксплуатации и факторов, влияющих на интенсивность изменения параметров технического состояния тормозной системы может способствовать разработке мероприятий по повышению безопасности дорожного движения и улучшению технико-экономических показателей использования автомобильного транспорта.

Разнообразие климатических, дорожных условий эксплуатации, конструктивных особенностей тормозных систем и принципов работы АБС требует индивидуального подхода к определению режимов работы пар трения, назначению ресурсов элементов и диагностики технического состояния.

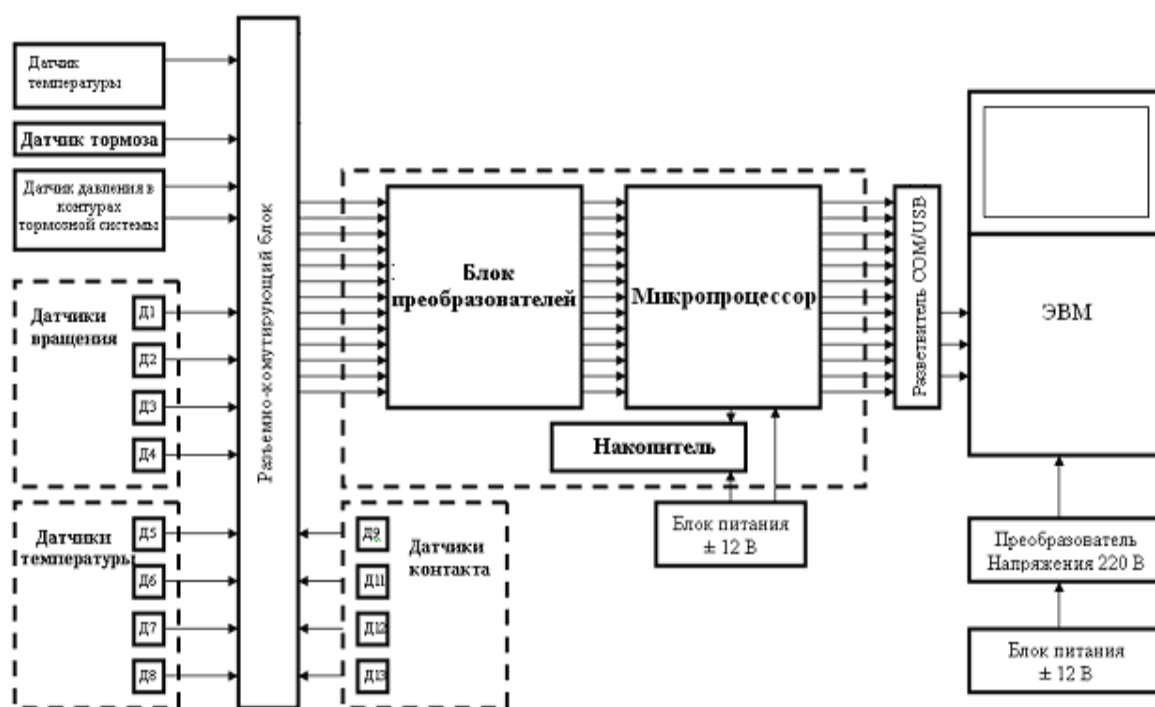


Рисунок 1 – Блок схема измерительного комплекса для контроля режимов работы тормозных систем автобуса

Мониторинг на основе измерительного комплекса и исследование режимов эксплуатации и факторов, влияющих на интенсивность изменения параметров технического состояния тормозной системы способствует повышению безопасности дорожного движения и улучшению технико-экономических показателей использования автомобильного транспорта. Для этого определен и разработан состав устанавливаемого на автомобиль измерительного комплекса.

Измерительный комплекс, состоит из набора датчиков, измеряющих физические параметры и соединенных с устройством преобразования, обработки и накопления информации.

Учет динамики рабочего процесса и нагрузочных режимов предполагает контроль параметров из двух следующих групп:

1) показатели эффективности торможения: время срабатывания тормозного привода, установившееся замедление, усилие нажатия на педаль и линейное отклонение;

2) показатели работы фрикционной пары контакта: относительная скорость перемещения элементов, удельное давление и время трения.

В процессе испытания измеряются такие показатели как: частота вращения колес, температура тормозных механизмов, температура окружающего воздуха, момент и время контакта накладок с барабаном, момент и время нажатия на педаль тормоза, датчик усилия на педали тормоза, поперечное и продольное ускорения, давление воздуха в тормозном контуре.

Тепловое состояние автомобильных тормозов является одним из основных факторов, обуславливающих снижение их эффективности, надежности и долговечности. Поэтому особое внимание уделяется определению температурных режимов работы, пути и времени трения элементов тормозного механизма автомобилей с АБС и без АБС.

Современная наука располагает разнообразием средств и методов исследования физических закономерностей процессов движения механических систем под воздействием внешних сил. Применительно к процессу торможения автомобиля такие исследования проводятся на натуральных объектах, оснащенных комплексом контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратуры, а также с помощью методов физического, электронного и математического моделирования. Данные исследований на натуральных объектах в реальных условиях эксплуатации позволят совершенствовать стендовые, лабораторные и имитационные исследования.

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СИЛЫ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ГЛУБИННОГО ШЛИФОВАНИЯ

Носенко В. А., Авилов А. В., ВПИ (филиал) ВолгГТУ

Непрерывная правка абразивного инструмента, применяемая в последнее время при глубинном шлифовании позволяет, в определенных пределах, стабилизировать геометрию его рабочей поверхности. Стабилизация необходима для нивелирования режима работы абразивного инструмента изменяющегося в связи с переменными условиями, как показано в работах [1, 2] наиболее ярко выраженными при глубинном шлифовании.

Предположим, что существуют режимы работы, обеспечивающие постоянные характеристики геометрии рабочей поверхности абразивного инструмента. Тогда её условно можно представить как упорядоченное расположение зёрен с одинаковой геометрией. Геометрия и характер расположения определяются средними значениями стабилизированной поверхности. Так же примем, что физико-механические свойства обрабатываемого материала и абразивного материала не изменяются по длине дуги контакта и в процессе всей обработки. Рассмотрим характер изменения составляющих силы на этапах врезания и выхода. Разделение процесса на этапы дано в работе [1].

Длину шлифования разбили на  $n$  участков, кратных  $x$ , рисунок 1. Каждому участку соответствует определенная длина дуги контакта:

$$L_i = \sum_{j=1}^i \Delta L_j, \quad (1)$$

где  $\Delta L_j$  – изменение длины дуги контакта на каждом  $i$ -ом участке по сравнению с предыдущим.

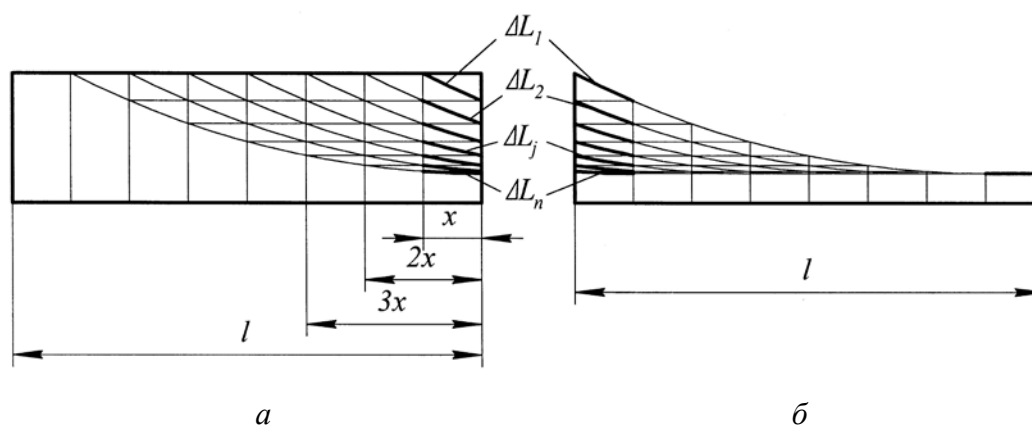


Рисунок 1 – Схемы формирования дуги контакта на этапах

шлифования:  $a$  – врезание;  $b$  – выход

На каждом  $\Delta L_j$  формируется определенная сила шлифования  $\Delta P_j$ . При неизменном рельефе рабочей поверхности круга можно допустить, что  $\Delta P_j$ , формирующаяся на соответствующем участке  $\Delta L_j$  дуги контакта, является величиной постоянной. Тогда силу шлифования (здесь и далее имеется ввиду сила, приведенная к высоте круга) на всей  $i$ -ой дуге контакта можно представить в виде суммы:

$$P_i = \sum_{j=1}^i \Delta P_j . \quad (2)$$

Значения составляющих сил действующих на одно зерно находили по известным уравнениям. Значения  $\Delta P_j$  определяли как сумму сил от единичных зерен, взаимодействующих с обрабатываемым материалом на данном участке.

Поскольку формирующиеся на  $i$ -м участке длины дуги контакта значения составляющих силы будут меньше, чем на соседнем участке, расположенном ближе к обрабатываемой поверхности и больше, чем на соседнем участке, расположенном ближе к обработанной поверхности, а длины участков одинаковы, то изменение  $P_z$  и  $P_y$  по длине шлифования на этапе врезания будет представлять собой выпуклую кривую, с уменьшением радиуса кривизны к концу этапа, а на этапе выхода данная кривая будет идентична указанной, но представленная в зеркальном отображении относительно оси абсцисс с переносом начала координат по оси ординат на величину максимального значения силы,  $P_{\max}$ , рисунок 2.

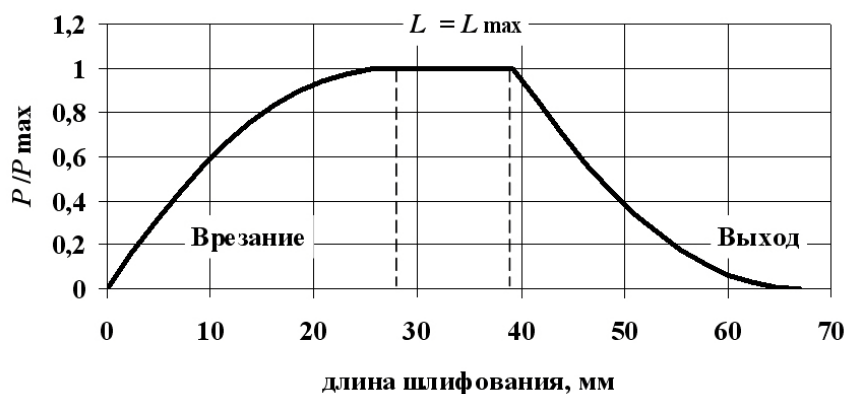


Рисунок 2 – Пример изменение составляющей силы резания по длине шлифования

Литература

1 Носенко В. А., Авилов А. В., Жуков В. К. Дуга контакта при глубинном шлифовании // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материа-

лы: сб. труд. Межд. науч.-тех. конф. «Шлифабразив – 2004». – Волжский: ВИСТех, 2004. – С. 196–199.

2 Носенко В.А., Жуков В.К., Авилов А.В. Площадь и толщина сечения срезаемого слоя на операции плоского глубинного шлифования // СИЖ. 2006. – №1. – С. 22–27.

## **ГЛУБИННОЕ ШЛИФОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ РАЗЛИЧНОЙ ШИРИНЫ И ДЛИНЫ КРУГАМИ КОНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ**

В.А. Носенко, д.т.н., С.А. Зотова, С.В. Носенко, ВПИ (филиал) ВолгГТУ

Глубинное шлифование предназначено, главным образом, для формообразования профильных поверхностей. На примере шлифования кругами прямого профиля, когда глубина шлифования по ширине обрабатываемой поверхности в любой момент времени является величиной постоянной, разработаны математические модели и исследовано влияние режимов шлифования на показатели надежности.

Но существует также потребность в формообразовании и более сложных поверхностей. Одной из наиболее распространенных является коническая. У круга конического профиля радиус по высоте изменяется. Первоначальный контакт начинается в осевом сечении круга наибольшего радиуса и постепенно распространяется на всю рабочую поверхность. Т. е. установленные ранее закономерности для круга прямого профиля не приемлемы для круга с конической рабочей поверхностью.

К числу основных показателей надежности абразивного инструмента, следовательно, и процесса шлифования относятся наработка  $V$ , например, объемная, характеризующая объем выполняемой работы и режущая способность  $Q$ , определяющая среднюю производительность процесса. Т. к. наработка во времени непостоянна, нами был введен еще один показатель – мгновенная режущая способность  $q$ , представляющая собой производную от наработки по времени  $t$ .

Совместный анализ показателей надежности и сил шлифования позволяет сделать вывод, что мгновенная режущая способность и составляющие силы шлифования



имеют одинаковую функциональную зависимость. Из этого следует, что мгновенная режущая способность является фактором, определяющим силу шлифования.

И так цель нашей работы заключалась в создании математических моделей и исследовании закономерностей изменения показателей процесса при глубинном шлифовании плоской горизонтальной поверхности кругом, периферия которого представляет коническую поверхность.

Наработку определим как объем, отсекаемый в конусе, тремя плоскостями: горизонтальной обрабатываемой плоскостью и двумя вертикальными плоскостями, в которых лежит торец и боковая сторона заготовки.

При получении математических моделей были приняты следующие начальные условия:

- заготовку считаем идеально гладкой, то есть шероховатость поверхности не учитываем;
- радиальный износ круга за период шлифования равен нулю, т.е. радиус круга не изменяется и равен  $R$  (мм);
- скорости стола  $v_s$  мм/мин и круга  $v$  м/с постоянны.

Первоначально рассматривалась поверхность полного цикла неограниченной ширины, длина которой обеспечивает прохождение этапов врезания, постоянного контакта и выхода.

Формула для вычисления наработки была составлена через тройной интеграл, с учетом его геометрического смысла. Интегрируя с использованием методов замены переменных, интегрирования по частям и частичного исключения иррациональности в знаменателе дроби подынтегрального выражения, было получено окончательное решение.

<i>Этап врезания (1)</i>
$V_p(\tau) = \frac{1}{6 \operatorname{tg} \alpha} F(z) \Big _{b-\tau \cdot v_s}^b, \quad Q_p(\tau) = \frac{V_p(\tau)}{\tau} = \frac{1}{6 \tau \operatorname{tg} \alpha} F(z) \Big _{b-\tau \cdot v_s}^b, \quad q_p(\tau) = V'_p(\tau) = \frac{v_s}{6 \cdot \operatorname{tg} \alpha} F'(z) \Big _{b-\tau \cdot v_s}, \quad \text{где } a =$ $t - R$ $F(z) = 6R a z - 2a z \sqrt{a^2 + z^2} - a^3 \ln \left( z + \sqrt{a^2 + z^2} \right) + 2R z \sqrt{R^2 - z^2} +$ $+ R^3 \arcsin \frac{z}{R} - z^3 \cdot \ln \left( a + \sqrt{a^2 + z^2} \right) + z^3 \cdot \ln \left( R - \sqrt{R^2 - z^2} \right),$ $F'(z) = 6R a - 3a \sqrt{a^2 + z^2} + 3R \sqrt{R^2 - z^2} + 3z^2 \ln \left( \frac{R - \sqrt{R^2 - z^2}}{a + \sqrt{a^2 + z^2}} \right)$

<i>Этап постоянной длины дуги контакта (2)</i>
$V_{п}(\tau) = \frac{\tau v_s t^2}{2 \operatorname{tg} \alpha}, \quad Q_{п}(\tau) = \frac{V_{п}(\tau)}{\tau} = \frac{v_s t^2}{2 \operatorname{tg} \alpha}, \quad q_{п}(\tau) = \frac{dV_{п}(\tau)}{d\tau} = \frac{v_s t^2}{2 \operatorname{tg} \alpha} = Q_{п}(\tau) = q_{п \max}$
<i>Этап выхода (3)</i>
$V_{в}(\tau) = \frac{\tau v_s t^2}{2 \operatorname{tg} \alpha} - V_{п}(\tau), \quad Q_{в}(\tau) = \frac{V_{в}(\tau)}{\tau} = Q_{п} - Q_{п}(\tau), \quad q_{в}(\tau) = \frac{dV_{в}(\tau)}{d\tau} = q_{п} - q_{п}(\tau)$

Используя формулы перехода, определяющие связь между временем шлифования и длиной пути шлифования, или длиной дуги контакта в основании шлифовального круга, можно получить соответствующие зависимости.

Далее была рассмотрена ситуация, когда в процессе шлифования ширина снимаемого слоя оказывается больше ширины детали. В этом случае этап врезания (выхода) проходит в два приема до достижения этапа постоянной длины дуги контакта.

Соответствующие математические модели были получены с использованием формул 1-3 для шлифования поверхности неограниченной ширины.

<i>Этап врезания</i>	<i>Этап постоянной длины дуги контакта</i>	<i>Этап выхода</i>
$V_p(\tau) = V_p(R, \tau) - V_p(r, \tau - \tau_{p1}),$ $Q_p(\tau) = Q_p(R, \tau) - Q_p(r, \tau - \tau_{p1}),$ $q_p(\tau) = q_p(R, \tau) - q_p(r, \tau - \tau_{p1}).$	$V_{п}(R, r) = V_{п}(R) - V_{п}(r),$ $Q_{п}(R, r) = Q_{п}(R) - Q_{п}(r),$ $q_{п}(R, r) = q_{п}(R) - q_{п}(r).$	$V_{в}(\tau) = V_{в}(R, \tau) - V_{п}(r, \tau) + V_p(r, \tau - \tau_{p1}),$ $Q_{в}(\tau) = Q_{в}(R, \tau) - Q_{п}(r, \tau) + Q_p(r, \tau - \tau_{p1}),$ $q_{в}(\tau) = q_{в}(R, \tau) - q_{п}(r, \tau) + q_p(r, \tau - \tau_{p1}).$
<p>Если <math>\tau - \tau_{p1} &lt; 0</math>, то слагаемые <math>V_p(r, \tau - \tau_{p1}), Q_p(r, \tau - \tau_{p1}), q_p(r, \tau - \tau_{p1})</math> равны нулю;</p> $\tau_{p1} = \frac{b - \sqrt{(R - B \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2 - a^2}}{v_s} \text{ – время 1-ого подэтапа врезания.}$		

Учитывая, что шлифование большого количества заготовок коротких по длине состоит из этапов врезания, набора глубины и выхода, были также разработаны математические модели показателей процесса ГШ поверхностей неполного цикла. Были разобраны ситуации всевозможных сочетаний малых значений длины и ширины заготовки, и для каждого случая определен свой набор формул.

Используя полученные математические модели, были рассчитаны значения  $V, Q, q$ , установлен характер и выявлены особенности изменения указанных параметров при шлифовании поверхности полного цикла неограниченной и ограниченной ширины на

режимах  $v = 25$  м/с,  $v_s = 25 - 300$  мм/мин,  $t = 1 - 6$  мм, кругом с  $R = 125 - 250$  мм,  $\alpha = 0 - 85^\circ$ .

$$V_{p \max} = 24,48 t^{2,496}; \quad V_{B \max} = 21,42 t^{2,496}; \quad \tau = 26,88 t^{0,496}$$

$$V_{p \max} = 128,2 R^{0,51}; \quad V_{B \max} = 112,2 R^{0,51}; \quad \tau = 3,91 R^{0,51}$$

$$V_{p \max} = -149 + 30600/\alpha; \quad V_{B \max} = -130 + 26800/\alpha; \quad \tau(\alpha) \approx \text{const}$$

$V_{\max}$  на этапе врезания (выхода) не зависит от  $v_s$ ,  $\tau = 2672,5 v_s^{-1}$

$$V_{p \max} = 0,066 B^3 - 7,103 B^2 + 221,56 B - 8,4;$$

$$V_{B \max} = -0,066 B^3 + 0,46 B^2 + 105,13 B + 8,4$$

$$V_{p \max}(L) = 0,00088 L^3 + 0,938 L^2 - 11,8 L + 52,35.$$

$$V_{H \max}(L) = -0,0096 L^3 - 1,256 L^2 + 90,19 L - 75,8;$$

$$V_{B \max}(L) = 0,0074 L^3 + 0,391 L^2 - 5,68 L + 27$$

Установлены некоторые закономерности связей.

$$Q_{p \max} + Q_{\kappa} = Q_{B \max}; \quad q_{\max} = Q_{B \max}; \quad V_{p \max} = 1,143 V_{B \max}$$

$$Q_{p \max} = 1,94 Q_{p c}; \quad Q_{B \max} = 1,38 Q_{B c}; \quad Q_{B c} = 2,64 Q_{p c}; \quad Q_{B \max} = 1,875 Q_{p \max}$$

max.

$$q_{\max} = 2,25 q_{p c} = 1,80 q_{B c}; \quad q_{p c} = 1,618 Q_{p c}; \quad q_{B c} = 0,766 Q_{B c}$$

Равенство  $V_p$  и  $V_B$  достигается на расстоянии  $\beta$  (% от протяженности этапа):

$$\beta(B) = -0,026 B^2 + 1,954 B + 62,3 \rightarrow 93,3 \%; \quad \beta(L) = 0,279 L + 79,33 \rightarrow 93,3 \%$$

Зависимости наработки, режущей способности, мгновенной режущей способности от времени шлифования поверхности неограниченной ширины на этапе врезания и выхода хорошо аппроксимируются не полными полиномами:

$$V_p(\tau) = A_v \tau^5 - B_v \tau^4 + C_v \tau^3; \quad V_B(\tau) = -A_v \tau^5 + B_v \tau^4 - C_v \tau^3 + D_v \tau. \quad (4)$$

$$Q_p = A_Q \tau^4 - B_Q \tau^3 + C_Q \tau^2; \quad Q_B = -A_Q \tau^4 + B_Q \tau^3 - C_Q \tau^2 + D_Q. \quad (5)$$

$$q_p = A_q \tau^4 - B_q \tau^3 + C_q \tau^2; \quad q_B = -A_q \tau^4 + B_q \tau^3 - C_q \tau^2 + D_q. \quad (6)$$

где  $A, B, C, D$  и  $E$  с соответствующими индексами – коэффициенты полиномов.

Зависимости (5) могут быть получены из (4) делением наработки на время. Об этом свидетельствует и равенство коэффициентов в полиномах (4) и (5), рассчитанных методом наименьших квадратов по данным из математических моделей. Коэффициенты полинома (6) можно получить дифференцированием полинома наработки (4) по времени, что также согласуется с расчетными данными:

$$5A_Q = A_q, \quad 4B_Q = B_q, \quad 3C_Q = C_q, \quad D_Q = D_q.$$

Для числовых коэффициентов всех полиномов определены функциональные зависимости от параметров шлифования. Следует отметить, что для этапов врезания и

выхода соответствующие коэффициенты при переменных отличаются только знаком. Тип аппроксимирующих полиномов для других случаев сохраняется.

Для поверхности полного цикла было проведено исследование закономерности составляющих силы шлифования от времени. Были получены соответствующие аппроксимирующие полиномы, которые имеют тот же вид, что и полиномы мгновенной режущей способности.

$$P_{yp} = 0,0000138t^4 - 0,00321t^3 + 0,177t^2; \quad P_{yb} = -0,0000137t^4 + 0,00318t^3 - 0,175t^2 + 129.$$

Т. е. характер изменения силы шлифования полностью соответствует характеру изменения мгновенной режущей способности.

$$q_p = A_q\tau^4 - B_q\tau^3 + C_q\tau^2; \quad q_b = -A_q\tau^4 + B_q\tau^3 - C_q\tau^2 + D_q.$$

Следовательно, по разработанной модели мгновенной режущей способности можно прогнозировать изменение силы шлифования.

#### Выводы

На всех этапах глубинного шлифования коническими кругами поверхностей полного и неполного циклов разработаны математические модели наработки и режущей способности, определяющие соответственно объем выполненной работы и среднюю производительность процесса.

Разработана математическая модель мгновенной режущей способности при шлифовании кругом конического профиля.

Установлен характер изменения наработки в зависимости от параметров процесса шлифования.

Разработаны упрощенные модели основных показателей процесса в виде полиномов при изменяющихся параметрах: глубины шлифования, радиуса круга, угла при вершине конической поверхности круга, скорости стола, ширины и длины поверхности.

Экспериментально доказано, что изменение мгновенной режущей способности за период шлифования совпадает с закономерностью изменения составляющих силы глубинного шлифования.

Используя разработанные математические модели мгновенной режущей способности можно прогнозировать закономерность изменения составляющих силы шлифования.

## МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ХОЛОДНОГО ВОЗДУХА В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖАНИЯ МИКРОКЛИМАТА НА РАБОЧИХ МЕСТАХ

## ОПЕРАТОРОВ И В КАБИНАХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В.Е. Костин, А.В. Саразов, ВПИ (филиал) ВолгГТУ

Как известно, отсутствие системы кондиционирования воздуха на рабочих местах операторов и в кабинах транспортных средств в летний период ведет к повышенной утомляемости, ухудшению внимания за счет превышения температуры воздуха, установленной санитарными нормами. Такое состояние ставит под угрозу здоровье и жизнь не только самого оператора или водителя, но и жизнь других людей.

Наиболее распространенными системами кондиционирования являются системы с парокомпрессионными холодильными машинами. Они отличаются высокой эффективностью, серьезным недостатком является низкая надежность в условиях вибрации, ограничение по температуре окружающей среды.

Термоэлектрические кондиционеры надежно работают в условиях вибрации, но они значительно менее эффективны, дорогостоящи и требуют отдельных схем электропитания.

Вышеуказанные системы при работе часто осушают воздух ниже допустимых норм, что может привести к раздражению слизистых и нарушению водно-солевого баланса, а при систематическом воздействии – к хроническим заболеваниям.

Эффективным методом обработки воздуха, лишенным вышеуказанных недостатков, является комбинированный метод.

Суть данного метода заключается в комплексном использовании охлаждения воздуха в вихревой трубе и использовании кинетической энергии воздуха для распыла воды. Воздушно-капельная смесь поступает в камеру орошения, где смешивается с приточным воздухом. Приточный воздух в зависимости от параметров воздушно-капельной смеси может охлаждаться с увлажнением, охлаждаться с осушением или просто увлажняться.

Достоинством такого метода является относительно низкая стоимость, высокая надежность, виброустойчивость, взрыво – пожаробезопасность, малая инерционность процесса, простота автоматизации управления процессом.

Описанный выше комбинированный метод может быть использован в кабинах транспортных средств, имеющих источник сжатого воздуха, в кабинах мостовых кранов, а также на рабочих местах операторов технологического оборудования промышленных предприятий.

# КОРЕЛЛЯЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ТЕХНИЧЕСКОЙ СКОРОСТЬЮ АВТОБУСОВ И ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА

М.В. Власова, Г.А. Чернова, ВПИ (филиал) ВолгГТУ

Кафедрой «Автомобильный транспорт» проведен хронометраж технической скорости на автобусах «Волжанин» и «ГАЗель» маршрута № 14 и исследована интенсивность транспортного потока на улице Мира Г. Волжского в будний день (среда) и выходной (воскресенье) дни с 7 до 22 часов.

Согласно [1] определен факторный признак – интенсивность транспортного потока  $X$  и результативный признак – техническая скорость автобусов  $Y$ , соответствующая данной интенсивности транспортного потока. Так как на изменение технической скорости автобусов влияет множество факторов: интенсивность транспортного потока, наличие перекрестков, светофоров, переездов, ширина проезжей части, число автобусных параллельных маршрутов, поэтому предполагается, что связь между технической скоростью  $Y$  и интенсивностью транспортного потока  $X$  выражается корелляционной зависимостью в виде уравнения гиперболы

$$Y = a/X + b.$$

Результаты хронометража интенсивности транспортного потока и соответствующей ей технической скорости сведены в сводные таблицы. Представлен фрагмент сводной таблицы 1.

Таблица 1 – Результаты исследования и наблюдений 9 июля 2008 г. (будний день) с 7 до 22 часов – автобус «Волжанин»

$V_t$ , км/ч	И, авт/ч	$V_t$ , км/ч	И, авт/ч	$V_t$ , км/ч	И, авт/ч	$V_t$ , км/ч	И, авт/ч
20,8	918	16,3	838	15,8	736	26,7	842
20,4	745	17,6	788	17	638	28,2	929

Таблица 2 – Значения скоростей и интенсивности транспортных потоков

№ п/п	Марка автобуса	ДАТА	Число наблюдений	Значения скоростей			Значения интенсивности		
				$V_{min}$	$V_{max}$	$V_{cp}$	$I_{min}$	$I_{max}$	$I_{cp}$
1	<b>Волжанин</b>	9.07.08.г.	96	12,5	40	25,6	391	1407	744
	<b>н</b>	среда							

2	<b>Волжани н</b>	13.07.08г. воскресенье	128	10,3	40	27,1	203	811	490
3	ГАЗель	9.07.08.г. среда	144	11,7	87,2	32,4	391	1144	721
4	ГАЗель	13.07.08г. воскресенье	160	5,4	90	34,6	203	811	493
5	ГАЗель	24.09.08 г. среда	63	13,3	66,6	30,3 1	222	837	493
6	ГАЗель	21.09.08 г воскресенье.	63	11,5	56	31,1 3	178	591	372

Число наблюдений, значения скоростей и интенсивности транспортных потоков представлены в таблице 2.

Составляются корреляционные таблицы связей между переменными X и Y. Для этого разбиваются группы по Y (например: 5-10, 10-15, 15-20 км/ч и т.д.) и средние значения Y, группы по X (например: 200-300, 300-400, 400-500 авт/ч и т.д.) и средние значения X.

Для составления уравнения регрессии составляется вспомогательная таблица. Пример составления уравнения регрессии представлен в таблице 3 для автобуса «Волжанин» в будний день.

В таблице 3 приведены полученные уравнения регрессии.

Таблица 3 – Уравнения регрессии

	Марка автобуса	Время наблюдений	Число наблюдений	Уравнение регрессии
1	Волжанин	Среда, 9.07.08 г.	109	$Y = 3652,68 / X + 20,1$
2	Волжанин	Воскресенье, 13.07.08 г.	224	$Y = 1969,04 / X + 22,6$
3	ГАЗель	Среда, 9.07.08 г.	105	$Y = 2812,5 / X + 28,2$
4	ГАЗель	Воскресенье, 13.07.08 г.	115	$Y = 4298,5 / X + 26,4$
5	ГАЗель	Среда, 9.07.08 г.	63	$Y = 3750 / X + 21,8$
6	ГАЗель	Воскресенье, 13.07.08 г.	63	$Y = 1164 / X + 27,8$

Таблица 4 – Требуемая интенсивность

	Марка автобуса	ДАТА	Техническая скорость по результатам хронометража	$I_{\max}$ по результатам хронометража	$V_t$ в расписании движения автобусов	Интенсивность требуемая
1	<b>Волжанин</b>	9.07.08г.	25,6	1407	24,9	760
2	<b>Волжанин</b>	13.07.08г.	27,1	811	24,9	856
3	ГАЗель	9.07.08г.	32,54	1144	31,2	938
4	ГАЗель	13.07.08г.	34,6	811	31,2	892
5	ГАЗель	24.09.08 г.	30,31	837	29	520
6	ГАЗель	21.09.08 г.	31,13	591	29	970

При решении уравнений регрессии относительно технических скоростей, представленных в расписаниях движения автобусов, получены интенсивности транспортных потоков, при которых обеспечиваются данные скорости.

Выводы: при существующей максимальной интенсивности транспортного потока в будние дни автобусам «Волжанин» и «ГАЗель» невозможно соблюдать техническую скорость, заложенную в расписаниях движения автобусов. Для соблюдения расписания водители автобусов «ГАЗель» на некоторых перегонах нарушают ПДД и движутся со скоростью, превышающей 60 км/ч.

Литература. 1. Карасев А.И. Теория вероятностей и математическая статистика. М., Статистика, 1977. 279 с.

## **АНАЛИЗ ПРИЧИН ПРЕЖДЕВРЕМЕННОГО ОТКАЗА ШИН В ВОЛЖСКОЙ АВТОКОЛОННЕ 1732**

П.А.Кулько, Д.А.Олейников, ВПИ (филиал) ВолгГТУ

Научно-исследовательская работа проводилась кафедрой «Автомобильный транспорт» совместно с Волжской автоколонной 1732. Согласно договору 11/14 от 25.05.2008г. выполнен анализ ходимости шин на автобусах марки «Волжанин» на городских №№ 1,27,14 и пригородных №№ 122, 123 маршрутах города Волжского. Все маршруты имеют дороги второй категории, одинаковую эксплуатационную скорость и цикличность движения, но отличаются по величине средней нагрузки на шины.



Средняя нагрузка определялась числом перевозимых пассажиров за отчётный месяц при известном количестве выполненных рейсов по данным планового отдела (октябрь 2008г.). Расчёт выполнялся по динамической нагрузке на передние и задние колёса при скорости разгона до 50 км/ч и установившемся ускорении  $2 \text{ м/с}^2$ , полученным по результатам наблюдения. Сбор данных по пробегу шин до списания проводился по карточкам учёта шин в производственно-техническом отделе по 18 автобусам, на которые установлены шины марок Matador, Kormoran, ЯШЗ (Ярославского шинного завода), близких по показателям надёжности и качеству.

Результаты исследования по нагрузке и пробегу приведены в таблице 1.

Уравнение регрессии по зависимости пробега шин от средней динамической нагрузки рассматривалось в виде полинома первой степени:

$$Y = p x + b,$$

где  $p$  – выборочный коэффициент уравнения регрессии;  $Y$  – пробег шин, км;  $x$  – средняя динамическая нагрузка на шину, Н.

Таблица 1 – Средние динамические нагрузки на шины и пробеги до списания

Маршрут №	Средняя нагрузка на шину, Н	Нормативная нагрузка на шину, Н	Пробег шин на маршруте, км	Пробег шин нормативный, км
1	19066	30900	102525	85000
27	18205	30900	111889	85000
14	19000	30900	104971	85000
122	19520	30900	103398	85000
123	20703	30900	93754	85000

Используя метод наименьших квадратов, получена математическая модель по статистическим данным:

$$Y = -6,8 x + 235942$$

На всех анализируемых маршрутах имеется перепробег шин относительно величины нормативного – 85000 км. Для условий эксплуатации автобусов на маршрутах города Волжского нормативный пробег для шин ЯШЗ, Matador Kormoran может быть достигнут при средней нагрузке не менее 22199 Н (следует из уравнения регрессии).

На каждом исследуемом маршруте средняя динамическая нагрузка на шину составила менее 2219 Н и поэтому нормативный пробег шин может быть увеличен и рассчитан по формуле, км:

$$L_{\text{рек}} = 22199/L_{\text{ф}} * 85000,$$

где  $L_{\text{рек}}$  – рекомендуемый пробег,  $L_{\text{ф}}$  – фактический пробег.

Рекомендуемый нормативный пробег по маршрутам, км

Маршрут

1	98964
27	103645
14	99308
122	96663
123	91139

При анализе выполнения в ремонтной зоне автоколонны организационно-технических требований выяснено, что давление в шинах системно не измеряется, на шиномонтажном участке балансировку шин не производят. Шины с пониженным давлением и с динамической неуравновешенностью склонны к проскальзыванию относительно дорожной поверхности и вызывают порывы боковой поверхности, повышенный износ протектора. Отсутствует очистка шин от застрявших предметов снаружи и внутренней поверхности при ремонте шин.

Предложено внедрить современные приборы, стенды для соблюдения всех технических требований при ремонте и техническом обслуживании шин с указанием заводов-изготовителей и отпускных цен. Внедрение рекомендаций предполагает увеличение пробега шин до списания на 15 %. Приведён расчёт экономической эффективности от внедрения предлагаемых технических решений, окупаемость затрат составит 1,7 года.

## **СКЛЕРОМЕТРИРОВАНИЕ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ АЛМАЗНЫМ ИНДЕНТОРОМ**

Носенко В.А., Соломоненко С.А., ВПИ (филиал) ВолгГТУ

Эксперименты выполнены методом многопроходного склерометрирования с постоянной силой прижима химически чистых металлов (Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W) алмазным индентором.

В соответствии с молекулярно-механической теорией трения значение силы трения определяется адгезионной и деформационной составляющими. На первом проходе взаимодействие индентора с металлом происходит в условиях упруго-пластической деформации. С увеличением количества проходов, в связи с уменьшением работы пластической деформации, доля деформационной составляющей в силе трения уменьшается. На последних проходах, где практически не наблюдается увеличение глубины риски в результате пластического оттеснения металла, контактное взаимодействие происходит в условиях упругого контакта. Известно, что для металлов, работающих в условиях упругого контакта деформационной составляющие силы трения можно пренебречь и считать, что сила трения равна молекулярной составляющей, т.е.  $P_{zc}$  характеризует адгезионную составляющую силы трения.

В подгруппе IVB  $P_{zc}$  уменьшается с увеличением главного квантового числа валентных электронов атомов металлов. Такая же закономерность наблюдается в подгруппе VIB, но значения  $P_{zc}$  существенно ниже, чем у металлов подгруппы IVB.

С увеличением главного квантового числа в подгруппах, согласно модели конфигурационной локализации валентных электронов, возрастает атомная стабильность электронных конфигураций, следовательно, уменьшается склонность атомов к различного рода взаимодействиям, в том числе и к адгезионному взаимодействию. Поэтому с увеличением главного квантового числа уменьшается сила  $P_{zc}$ . Металлы VIB подгрупп обладают наибольшей атомной стабильностью, поэтому  $P_{zc}$  меньше, чем у металлов IVB подгрупп. Самое высокое значение  $P_{zc}$  в периодах имеют металлы VB подгруппы, но по атомной стабильности они занимают промежуточное положение между металлами IVB и VIB подгрупп. Отличительной особенностью металлов VB подгруппы является большая склонность их электронных конфигураций к образованию сильных связей Me - Me. Обладая достаточно высокой адгезионной активностью металлы VB подгруппы налипают на индентор (адгезия). При последующих проходах происходит взаимодействие основного металла с налипшим на индентор (когезия). Прочность когезионного сцепления определяется связующей стабильностью электронных конфигураций, увеличивающейся с ростом главного квантового числа. Металлы VIB подгруппы еще в большей степени склонны к образованию сильных связей Me - Me, но высокая атомная стабильность электронных конфигураций и, обусловленная этим слабая активность, препятствуют развитию когезионных процессов.

Согласно полученных экспериментальных данных исследуемые тугоплавкие металлы по значению  $P_{zc}$  разделены адгезионно активные и инертные.