



УДК 631.3.004.67(075.8)

И.А. Безбородов, Ю.И. Лопухов
ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСКОВ ПРЕДЕЛЬНЫХ УГЛОВЫХ ОТКЛОНЕНИЙ
ЭЛЕМЕНТОВ СБОРОЧНЫХ ЦЕПЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Правильное решение задач по определению допусков на элементы сборочных цепей является одним из ключевых моментов в обеспечении качества машин и оборудования. Методы решения таких задач, с достаточной для практики полнотой, разработаны для обеспечения сбираемости элементов сборочных цепей методом полной взаимозаменяемости [1]. Однако при этом вопросы определения замыкающих звеньев размерных цепей, ответственных за работоспособность и функциональные возможности механизмов (зазоры, продольный контакт, деформируемые уплотнения и т. п.) требуют научного обоснования. В частности эти методы не дают решения для анализа применимости допусков из условия обеспечения продольного контакта шатунных вкладышей двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Актуальность решения таких задач особенно очевидна для всех конструкций ДВС, поскольку в них не предусмотрены специальные конструкторские компенсаторы угловых отклонений элементов сборочной цепочки кривошипно-шатунного механизма (КШМ) и цилиндро-поршневой группы (ЦПГ), от которых зависит полнота продольного контакта шатунных вкладышей с шейками коленчатых валов [2, 3, 4, 5]. В литературных источниках эти вопросы носят характер констатирования фактов бесспорного влияния упомянутых погрешностей на ресурс двигателя, но они не доведены до уровня расчётных формул, которые могли бы быть использованы на практике. Поэтому в настоящее время в конструкторских, прочностных и технологических расчётах продольный контакт рабочих поверхностей шатунных вкладышей рассматривается идеализированным (т.е. без учёта реального фактора) как полнота продольного контакта рабочих поверхностей шатунных вкладышей с шейками вала. В связи с этим, всё более очевидна актуальность технологических мероприятий по обеспечению точности соединений сборочных поверхностей базовых деталей ДВС.

Целью исследования является изыскание конструкторско-технического резерва компенсации угловых отклонений элементов сборочной цепи КШМ для решения прямых и обратных задач определения предельных допусков на угловые отклонения сборочных поверхностей базовых деталей ДВС.

Объекты и методы исследования. В качестве объекта исследования является схема допусков на угловые отклонения элементов сборочных цепей ДВС отечественного и зарубежного производства в условиях полной и неполной взаимозаменяемости. В качестве компенсирующих звеньев угловых сборочных цепей приняты: 1) зазор между стенками поршня и цилиндра; 2) закономерности формирования продольного контакта шатунных вкладышей коленчатого вала. Для исследования продольного контакта шатунных вкладышей применяли электропараметрический метод, при котором снятие информации о со-

стоянии продольного контакта шатунных вкладышей производили по изменению напряжения при пропускании электрического тока через контакт изучаемых рабочих поверхностей.

Результаты исследования в соответствии со схемой угловых отклонений элементов сборочной цепи КШМ ДВС, представленной на рис. 1.

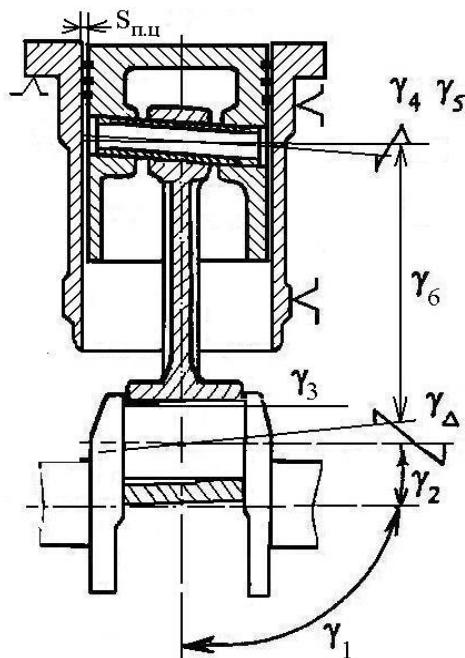


Рисунок 1 - Схема угловых отклонений элементов сборочной цепи КШМ и ЦПГ автотракторных двигателей (обозначения даны в соответствии с табл. 1)

Строгое решение сформулированной контактной задачи представляет большие трудности не только от влияния случайных факторов, но также в связи с отсутствием достаточного фонда статистических данных по параметрам взаимодействия микрорельефа контактируемых поверхностей.

В работе состояние продольного контакта основывается на оценке электросопротивления. Снятие информации о состоянии продольного контакта шатунных вкладышей с шейками коленчатого вала производили по изменению напряжения при пропускании электрического тока через контакт рабочих поверхностей вкладыша с шейкой вала. Угловое отклонение вкладыша обеспечивали подложкой под одну сторону вкладыша изоляционной пленки соответствующей толщины. Усилие на вкладыш создавали через деформометр ступенчатой нагрузкой с равным увеличением каждой ступени, контролируемой по шкале индикатора часового типа. При этом относительную величину продольного контакта рабочих поверхностей шатунного вкладыша определяли по следующему соотношению

$$\varphi_{ш.ш.} = U_{эт.} / \Delta U_{контр.}, \quad (1)$$

где $\Delta U_{контр.}$ – напряжение при контроле продольного контакта, мВ; $U_{эт.}$ – эталонное значение напряжения при полном контакте рабочих поверхностей шатунного подшипника, мВ.

Таблица 1

*Допуски на угловые отклонения сборочных поверхностей деталей
автомоторных двигателей*

Наименование и обозначение угловых отклонений сборочных поверхностей	Значения допусков для ДВС	
	иностраных	отечественных
1. Отклонение от перпендикулярности оси цилиндра или расточки под гильзы к оси гнезд коренных подшипников коленчатого вала (γ_5)	0,015	0,030
2. Отклонение от параллельности осей шатунных и коренных шеек коленчатого вала (γ_1)	0,005	0,020
3. Конусность шатунных шеек (γ_3)	0,005	0,005
4. Перекос осей головок шатуна (γ_4)	0,005	0,005
5. Отклонение от перпендикулярности осей отверстия бобышек и поршня (γ_5)	0,005	0,005
6. Отклонение от параллельности осей верхней и нижней головок шатуна (γ_6)	0,010	0,020
7. Отклонение от параллельности осей шатунной шейки и нижней головки шатуна (γ_Δ)	0,010	0,010

При расчётах численного значения относительного продольного контакта по формуле (1) за эталонное напряжение было принято численное значение напряжения при нагрузке на вкладыш в 650-800 Н.

На рис. 2 по данным эксперимента построено семейство графических зависимостей изменения относительного продольного контакта от углового отклонения положения рабочих поверхностей шатунных вкладышей и шеек коленчатого вала ДВС при постоянных нагрузках, действующих на вкладыш.

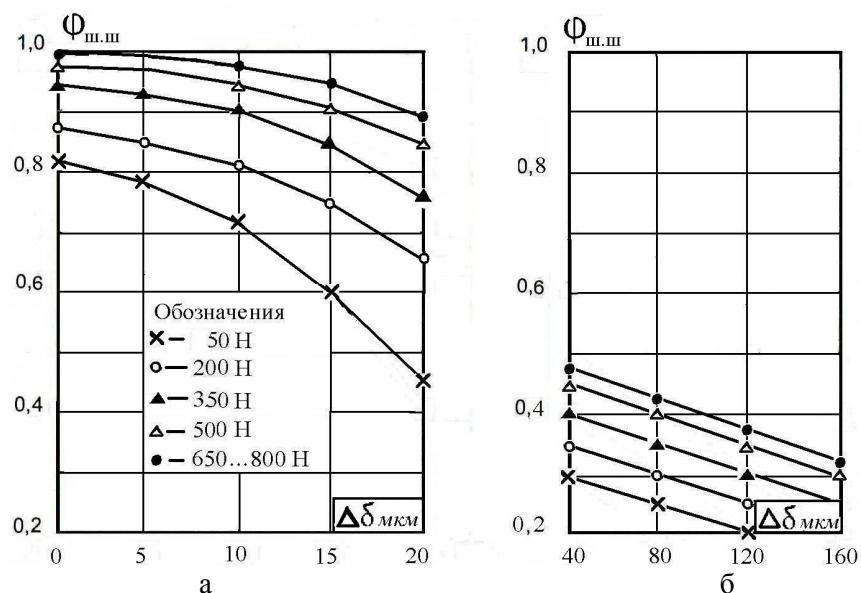


Рисунок 2 - Зависимости изменения относительного продольного контакта рабочих поверхностей шатунных вкладышей: а) и шеек коленчатого вала; б) в зависимости от их углового отклонения при постоянных нагрузках на вкладыш (H)

В качестве показателя оценки принято значение относительного продольного контакта вкладыша с шатунной шейкой коленчатого вала, определяемое по следующей формуле

$$\varphi_{\text{ши.}} = \frac{L_K}{B_H} = \left(\frac{h_o}{\Delta\delta} \right)^{\frac{1}{n}}, \quad (2)$$

где L_K – длина продольного контакта шатунного вкладыша, мм; B_H – ширина шатунного вкладыша, мм; $\varphi_{\text{ши.}}$ – относительная величина продольного контакта вкладыша; h_o – конструкторско-технический резерв контактируемых поверхностей вкладыша и шейки вала, мм на ширине вкладыша; $\Delta\delta$ – приведенное отклонение от параллельности осей нижней головки шатуна и шатунной шейки на длине ширины вкладыша; n – опытное значение показателя степени ($n=2$).

Величина h_o в формуле (2) при решении прямой задачи определяется по следующему уравнению

$$h_o = y_{uu} + y_e, \quad (3)$$

где y_{uu} – сближение со скольжением от упругопластической деформации микронеровностей шероховатости рабочих поверхностей шатунного вкладыша и шейки вала, мкм; y_e – сближение от деформации волнистости рабочих поверхностей шатунного вкладыша и шейки вала, мкм.

Величина $\Delta\delta$ определяется из следующего уравнения

$$\Delta\delta = \delta_\Delta - (\delta_{n.u.} + \delta_{n.n.}), \quad (4)$$

где δ_Δ – суммарное отклонение от параллельности осей нижней головки шатуна и шатунной шейки на длине ширины вкладыша в статическом состоянии ДВС; $\delta_{n.u.}$ – сближение от перекоса поршня в пределах зазора между стенками цилиндра и поршня, приведённая к ширине шатунного вкладыша; $\delta_{n.n.}$ – величина сближения от диаметральных зазоров в соединениях поршневого пальца, приведённая к ширине вкладыша, мм.

В условиях сборки ДВС методом полной взаимозаменяемости происходит частичная компенсация угловых отклонений одних элементов другими, поэтому величина параметра δ_Δ в уравнении (3) определяется вероятностным методом по следующей известной формуле

$$\delta_\Delta = T_\Delta = t_\Delta \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \cdot \lambda_i^2 \cdot \gamma_i^2}, \quad (5)$$

где ξ_i – передаточное отношение отклонения на замыкающее звено, определяемое из следующего соотношения:

$$\xi_i = \frac{B_H}{L_i}, \quad (6)$$

где L_i – длина, на которой задан допуск на отклонение оси, (γ_i).

Величина сближения от перекоса поршня $\delta_{n.u.}$ в пределах диаметрального зазора между стенками цилиндра и поршня, приведённая к ширине шатунного вкладыша, определяется по формуле

$$\delta_{n.u.} = S_{n.u.} \cdot \frac{B_n}{L_{n.u.}}, \quad (7)$$

где $S_{n.u.}$ – зазор между поршнем и стенкой гильзы цилиндра, мм; $L_{n.u.}$ – расстояние от днища поршня до шатунной шейки, мм.

Численное значение $L_{n.u.}$ определяется из следующего уравнения

$$L_{n.u.} = L_n + L_{u.o.} - R_{u.u.},$$

где L_n – расстояние от оси поршневого пальца до днища поршня, мм; $L_{u.o.}$ – межцентровое расстояние верхней и нижней головок шатуна, мм; $R_{u.u.}$ – радиус шатунной шейки коленчатого вала, мм.

Величина сближения от диаметральных зазор в соединениях поршневого пальца $\delta_{n.n.}$, приведённая к ширине вкладыша, определяется по формуле

$$\delta_{n.n.} = S_{n.n.} \frac{B_n}{L_{n.n.}} + S_{n.u.}, \quad (8)$$

где $S_{n.u.}$ – зазор в соединении поршневой палец - втулка шатуна, мм; $S_{n.n.}$ – зазор в соединении поршневой палец - бобышка поршня, мм; $L_{n.n.}$ – длина поршневого пальца, мм.

Показатели технического состояния шатунных подшипников служат для оценки состояния контакта элементов шатунных подшипников:

1) Относительная длина продольного контакта шатунных вкладышей с шейкой вала определяется по формуле (2).

2) Коэффициент использования зазоров соединений ЦПГ χ (%) для компенсации угловых отклонений продольного контакта шатунных вкладышей

$$\chi = \left(1 - \frac{h_0}{\delta_\Delta} \right) \cdot 100. \quad (9)$$

Примеры решения прямых и обратных задач.

Прямые задачи предусматривают обоснование значений проектно-технологических допусков на угловые отклонения сборочных поверхностей базовых деталей ДВС автомобильной техники.

Обратные задачи предусматривают определение предельного деформационного состояния базовых деталей ДВС, а также оценку применимости эксплуатационных допусков на угловые отклонения сборочных поверхностей базовых деталей для адресно-индивидуальной сборки ДВС. К обратным задачам также относятся технологические задачи, связанные с ремонтной сборкой.

Условие задачи. Оценить влияние фактора старения блоков цилиндров ДВС отечественного производства на их применимость для сборки методами полной и неполной взаимозаменяемости с оценкой по критериям продольного контакта шатунных вкладышей с шейками коленчатого вала. Исходными данными в данной задаче являются допуски на угловые отклонения ДВС отечественного производства, представленные в табл. 1.

При оценке влияния отклонений от перпендикулярности осей цилиндров и гнезд коренных подшипников в блоках цилиндров группы «B, C, D» остальные угловые отклонения элементов сборочной цепочки принимались равными табличным. Оценка допусков в условиях метода сборки неполной взаимозаменяемости - путём согласования угловых отклонений γ_1 и γ_6 на их разность. Результаты общего решения обратной задачи представ-

лены в виде графических зависимостей на рис. 3. При зазоре между стенками гильзы и поршня, равным 0,075 мм, в блоках цилиндров группы «A» и «B» может быть полный контакт элементов шатунного подшипника. Но при зазоре 0,05 мм в группе «B» будет неполный контакт, относительная величина которого равна 0,45.

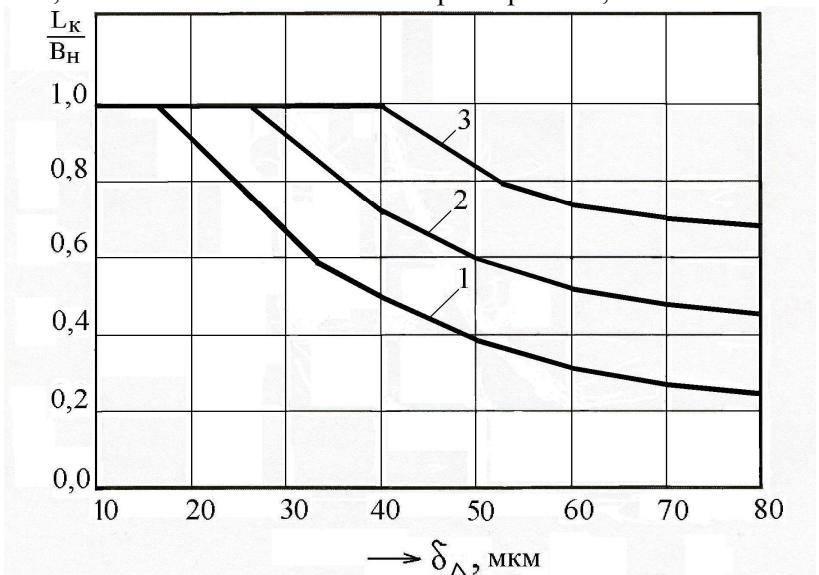


Рисунок 3 - Теоретические зависимости изменения относительного продольного контакта шатунных вкладышей с шейкой вала от влияния значений суммарных угловых отклонений сборочных поверхностей деталей КШМ и ЦПГ при разных зазорах между стенками цилиндра и поршня: 1 - 0,05; 2 - 0,075; 3 - 0,1

Таблица 2

Значения показателей технического состояния шатунных вкладышей
для разных групп блоков цилиндров ДВС

Критерии контакта	Значения критериев для ДВС с блоками цилиндров			
	A	B	C	D
<i>ДВС иномарок при $\delta_{n.u.} = 0,01$</i>				
δ_{Δ} , м/30 мм	0,0039 (0,002)	0,005(0,0027)	0,009 (0,0046)	0,015 (0,0064)
$\varphi_{ш.ш.}$	1,0	1,0	1,0	0,7 (1,0)
χ	23 (0)	40 (0)	67 (35)	80 (53)
<i>ДВС отечественного производства при $\delta_{n.u.}=0,01$</i>				
δ_{Δ} , м/30 мм	0,007 (0,003)	0,010 (0,004)	0,016 (0,007)	0,0245 (0,012)
$\varphi_{ш.ш.}$	1,0	1,0	0,86 (1,0)	0,5 (1,0)
χ	57 (0)	70 (25)	81 (57)	90 (75)

Примечание. В скобках даны значения показателей контакта шатунных вкладышей при сборке ДВС методом неполной взаимозаменяемости

Для блоков цилиндров группы «C» и «D» значения коэффициента $\varphi_{ш.ш.}$ указывают на то, что эти блоки относятся к группе риска. Во всех случаях, если величина суммарной погрешности элементов подшипника удовлетворяет соотношению $\delta_{\Delta} \geq (\delta_{n.u.} + \delta_{n.p.})$, то от-

носительный продольный контакт вкладышей с шейками вала резко уменьшается, что ведёт к увеличению удельных давлений и повышению интенсивности изнашивания. На рис. 3 представлены графические зависимости безразмерного показателя $\varphi_{ш.ш.}$, полученные расчетным путем по формуле (1). Результаты общего решения прямой задачи представлены в табл. 2, которые свидетельствуют, что компенсация угловых отклонений с деформированными блоками цилиндров изменяется от 57 %, для группы «А», до 90 % для группы «Д». Представленные в табл. 2 примеры свидетельствуют, что показатели технического состояния шатунного подшипника по информативности в достаточной мере отражают техническое состояние блока цилиндров ДВС.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. При отсутствии углового отклонения рабочих поверхностей шатунных вкладышей и шеек коленчатого вала их относительный продольный контакт составляет 0,80...87.
2. В соответствии с методом определения допусков на предельные угловые отклонения элементов сборочной цепи КШМ ДВС установлено, что существующие производственные допуски сборочных поверхностей блоков цилиндров в 3 раза превышают конструкторские допуски, полученные из условия обеспечения продольного контакта шатунных вкладышей. Аналогичные допуски блоков цилиндров ДВС иномарок по упомянутому показателю в 1,5 раза превышают конструкторские допуски.

Список литературы

1. Шамин В.Ю. Теория и практика размерно-точностного проектирования: Монография. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. - 520 с.
2. Безбородов И.А. Исследование продольного контакта рабочих поверхностей шатунных вкладышей с шейками коленчатых валов двигателя внутреннего сгорания / Вестник НГАУ. - 2011. - № 3 (19). - С. 104-108.
3. Безбородов И.А. Метод размерно-точностного анализа допусков на угловые отклонения сборочных поверхностей базовых деталей автотракторных двигателей / Вестник НГАУ. - 2010. - № 4 (16). - С. 72-77.
4. Безбородов И.А. Расчетный метод оценки влияния погрешностей сборки на формирование продольного контакта в соединении: вкладыш-шатунная шейка коленчатых валов ДВС // Машиностроительное, энергетическое и сервисное обслуживание сельхозпроизводителей Сибири: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию академика ВАСХНИЛ А.И. Селиванова / СибИМЭ. - Новосибирск, 2008. - С. 82-87.
5. Безбородов И.А. Метод размерного анализа погрешностей базовых деталей ДВС по критериям контакта и задиростойкости шатунных подшипников // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2009. - № 2. - С 42-45.

Получено 12.04.2012

УДК 621.867.157

Е.А. Клименко, Г.А. Гурьянов
ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

АНАЛИЗ И ВЫБОР БАЗОВОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ СЛОЯ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ВИБРАЦИОННЫХ ПОБУДИТЕЛЕЙ ИСТЕЧЕНИЯ

Для выпуска влажных и плохосыпучих материалов, часто используемых в строительной индустрии, горном деле, металлургии и других отраслях промышленности, применяются конструкции типа вибрационных ворошителей, вибрационных воронок и по-

технические науки

движных ложных вибрационных стенок.

При расчете и конструировании вибрационных побудителей истечения, например вибрационной стенки, виброворонки и др., необходимо знать особенности и характер протекания процесса вибрационного выпуска, закономерности изменения реологических характеристик выпускаемого материала.

Движение вибрационного слоя сыпучего материала по колеблющейся грузонесущей поверхности определяется следующими основными факторами: физико-механическими свойствами сыпучего материала, параметрами колебаний грузонесущей поверхности и ее наклоном. Одним из основных параметров, определяющих эффективность процесса, является скорость виброперемещения сыпучего материала. Для исчерпывающей оценки процесса движения виброслоя необходимо учитывать параметры всех участвующих в процессе элементов системы.

Анализ развития теории вибрационного движения сыпучего материала показывает, что каждое новое достижение основывалось главным образом на усовершенствовании модели процесса. В первоначальных моделях вибродвижение слоя сыпучего материала по грузонесущей поверхности описывалось движением неупругой материальной частицы. Уже на первых этапах исследований считалось, что процесс вибротранспортирования материальной частицы подразделяется на две фазы движения: совместное движение в контакте с рабочим органом и свободное движение или полет. Так как движение виброслоя сыпучего материала по активной вибрационной стенке происходит в стесненных условиях, при постоянном давлении на нижний монослой всей массы находящегося в бункере сыпучего материала, режимы движения фазой свободного движения или полета трудно реализуемы, поэтому ограничимся моделями, рассматривающими движение сыпучего материала совместно с грузонесущей поверхностью.

Движение материальной частицы без подбрасывания, с двумя мгновенными остановками в каждом периоде, рассмотрено Г. Линднером [1] в одном из первых серьезных исследований движения материальной частицы. Согласно его модели, средняя скорость движения частицы при $\operatorname{tg} \alpha = \mu^2 \cdot \operatorname{tg} \beta$, где μ - коэффициент трения скольжения, имеет вид:

$$V = 0,06 \cdot A \cdot n \cdot \mu \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (1)$$

где A – амплитуда колебаний, мм; n – число колебаний, мин⁻¹; α - угол наклона вибрирующей поверхности к горизонту, град; β - угол вибрации, град.

Модель рассматривает общий случай движения и совершенно не учитывает характеристики перемещаемого материала.

Режимы движения материальной частицы рассматривали также А.О. Спиваковский [2], Э.Э. Лавенделл [3], А.К. Гулбе [4], В.К. Дьячков [5] и др. В.К. Дьячков провел обширный объем экспериментальных исследований, которые позволили существенно расширить область применения формулы В.А. Баумана, полученной, в основном, для режимов с подбрасыванием:

$$V = (K_1 \pm K_2 \cdot \sin \alpha) \cdot A \cdot \omega \cdot \cos \beta \cdot \sqrt{1 - K_p^2}, \quad (2)$$

где K_1 , K_2 – эмпирические коэффициенты, характеризующие свойства сыпучего материала, по данным ВНИИПТмаша: $K_1 = 0,18 \dots 1,2$; $K_2 = 0,8 \dots 3,7$; α - угол наклона грузонесущей поверхности, град; β - угол вибрации, град; ω - частота колебаний, с⁻¹; K_p – коэф-

$$\text{фициент режима работы, } K_p = \frac{A \cdot \omega^2 \cdot \sin \beta}{g \cdot \cos \alpha}. \quad (3)$$

Предложенная В.А. Бауманом формула справедлива только при амплитудах колебаний рабочего органа до 1 мм и при коэффициенте режима работы меньшем 1. Кроме того, она не учитывает вибровязких свойств сыпучих материалов.

Эти свойства учитываются формулой П.Я. Ренгелиса [6], которая по сравнению с формулой В.А. Баумана дает возможность расчета скорости при амплитудах $A < 1$ и $K_p < 1$, однако она более трудоемка в расчетах при довольно низкой ее точности.

Наиболее весомый вклад в анализ и разработку теории вибрационного перемещения материальной частицы сделал И.И. Блехман [7].

К общим недостаткам теорий, рассматривающих описание процесса вибротранспортирования материальной частицы, следует отнести их малое соответствие реальному процессу, вследствие того, что они не учитывают высоту слоя материала, взаимодействия между виброслоями и гистерезисные потери в самом виброслое.

Учет сил сопротивлений движению вызвал появление новых моделей и зависимостей, описывающих движение виброслоя материала с большей точностью. Так, в работах А. Grubak [8] и Е.В. Зернова [9] математическое описание поведения слоя сыпучего материала дано на основе аналогии виброперемещаемого слоя течению вязкой жидкости. А. Геберсон [10] делает заключение, что в ряде случаев вибротранспортируемый слой сыпучего материала перемещается по грунтонесущей поверхности как «единый блок». Обе модели ограничиваются в применении тем, что не учитывают многослойности перемещаемого сыпучего материала.

Вибровыпуск больших масс сыпучего материала на примере вибровыпуска горной породы смоделирован А.Д. Учителем и В.В. Гущиным [11], модель изображена на рис. 1. Внутренние силы, действующие в слое большой массы и высоты, моделируются коэффициентом затухания колебаний в виброслое. Зависимость амплитуды колебаний от расстояния до грунтонесущей поверхности принята экспоненциальной. Скорости и ускорения колебаний сыпучего материала синхронны и синфазны по всей толщине виброслоя.

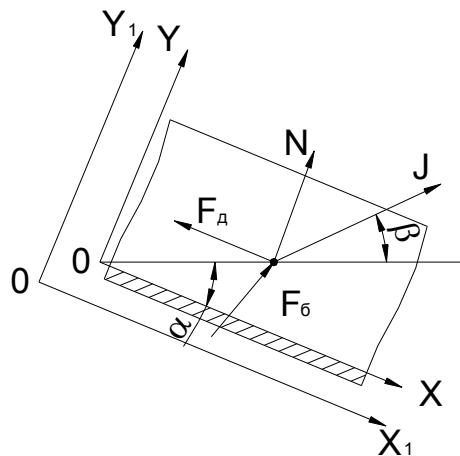


Рисунок 1 – Модель А.Д. Учителя и В.В. Гущина

Уравнения движения виброслоя сыпучего материала относительно груzonесущей поверхности имеют вид:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = G \cdot \sin \alpha + J_x \pm F \pm F_{\delta.x.}, \\ m\ddot{y} = -G \cdot \cos \alpha + J_y \pm N \pm F_{\delta.y.}, \end{cases} \quad (4)$$

где G – сила тяжести; J_x, J_y – проекции сил инерции на оси координат; F – сила трения сыпучего материала о груzonесущую поверхность или нижележащий слой; $F_{\delta.x.}, F_{\delta.y.}$ – проекции силы трения сыпучего материала о боковые поверхности на оси координат; N – нормальная реакция груzonесущей поверхности или нижележащего монослоя на вышележащий монослой.

Модель достаточно логична, достоверна и отражает практически все сопротивления и нагрузки, действующие на виброслой сыпучего материала. Вертикальная составляющая ускорения сыпучего материала в точке, расположенной на высоте h , будет равна

$$a_z = A \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t \cdot e^{-\beta_y h}, \quad (5)$$

а горизонтальная составляющая

$$a_x = A \cdot \omega^2 \cdot \cos \omega t \cdot e^{-\beta_x h}. \quad (6)$$

Относительное ускорение слоя в промежутке времени, когда нет проскальзывания и отрыва равно

$$\ddot{y} = \frac{1}{H-h} \int_h^H (A \cdot \omega^2 \cdot \sin \beta \cdot \sin \omega t \cdot e^{-\beta_y h} - A \cdot \omega \cdot \sin \beta \cdot \sin \omega t) dt, \quad (7)$$

$$\ddot{x} = \frac{1}{H-h} \int_h^H (A \cdot \omega^2 \cdot \sin \beta \cdot \sin \omega t \cdot e^{-\beta_x h} - A \cdot \omega \cdot \sin \beta \cdot \sin \omega t) dt, \quad (8)$$

где β_y и β_x – коэффициенты затухания плоских волн сжатия и сдвига.

Сложность использования приведенных зависимостей кроется именно в экспериментальном определении этих коэффициентов.

Моделирование выпуска больших масс сыпучего материала выполнено А.Г. Червоненко [12, 13], модель которого изображена на рис. 2. Для описания процесса вибровыпуска был использован математический аппарат, основанный на принципе суперпозиции Больцмана, предусматривающий учет предшествующей истории нагружения. При этом полная деформация массива сыпучего материала, смоделированная деформацией стержня постоянного сечения F в момент времени t , будет равна

$$\varepsilon(t) = E^{-1} \cdot \left(\sigma(t) + \int_H^t K(t-\tau) \cdot \sigma(\tau) d\tau \right), \quad (9)$$

где σ – напряжение; ε – деформация; E – модуль упругости; $K(t - \tau)$ – функция влияния, убывающая при возрастании ($t - \tau$); t – время наблюдения; τ – время, предшествующее моменту наблюдения.

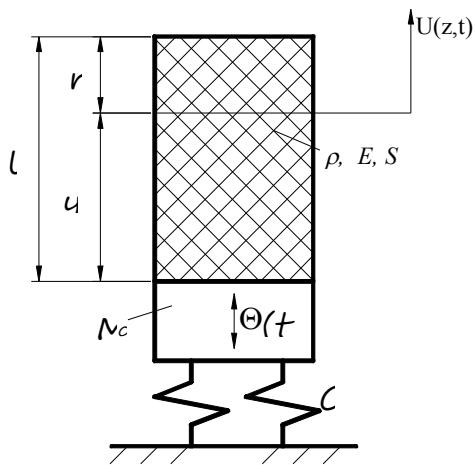


Рисунок 2 – Расчетная схема взаимодействия рабочего органа с технологической нагрузкой:
 M_0 – масса столба нагрузки; ρ - плотность нагрузки; E – модуль упругости; S – площадь столба нагрузки

Уравнение, составленное в соответствии с теорией наследственности и описывающее продольные колебания стержня, имеет вид:

$$m_1 = \delta^2 u(y, t) / \delta t^2 = E_t \cdot F \cdot \delta^2 u(y, t) / \delta x^2. \quad (10)$$

Решение его при граничных условиях

$$V(0, t) = V_0 \cdot \sin \omega t \delta u(1, t) / \delta x = 0, \quad (11)$$

позволяет определить амплитуду произвольного сечения стержня без учета взаимодействия его с вибромашиной:

$$V(0, t) = V_0 \cdot \sin \omega t \delta u(1, t) / \delta x = 0 \quad (12)$$

$$U(y, t) = V_0 \cdot (\cos a_t x + \operatorname{tg} a_t^2 \cdot l \cdot \sin a_t) \cdot \sin \omega t, \quad (13)$$

где $U(y, t)$ – перемещение сечения слоя с координатой y ; V_0 – амплитуда колебаний нижней границы среды; ω - частота вынужденных колебаний; l – высота слоя; m_1 – масса единицы длины;

$$a_t^2 = \frac{m \cdot \omega^2}{F \cdot E_t}, \quad (14)$$

где E_t – интегральный оператор вида

$$E_t = E_0 \cdot \left[\varphi(t) - \int_{-\infty}^t K(t-\tau) \varphi(\tau) d\tau \right], \quad (15)$$

где $K(t - \tau)$ – ядро релаксации; E_0 – мгновенный модуль упругости, определяющий упругую реакцию стержня при бесконечно большой скорости деформирования.

Использованный подход к решению задачи вибровыпуска слоя большой высоты и массы с определением вертикальной деформации выброслоя и амплитуды произвольного сечения стержня позволяет достаточно полно описывать процессы, происходящие в различных по высоте выброслоя сечениях. Однако прямой перенос этих результатов на процесс вибровыпуска по активной вибростенке осложнен как отсутствием параметра наклона груженесущей поверхности, так и привлечением специального математического аппара-

рата интегральных уравнений Вольтерра 2-го рода.

В 70-е годы XX столетия получила распространение упруговязкая модель вибротранспортируемого слоя сыпучего материала, предложенная И.Ф. Гончаревичем [14]. Модель вибrosлоя основана на принципах феноменологической реологии, которая изучает однородные или квазиоднородные материалы в предположении, что они являются сплошными средами. Большая часть материалов, исследуемых реологией, представляет собой дисперсные системы, состоящие из двух или более фаз. В этом случае реальная среда представляется моделью из реологических тел, имеющих строго определенные параметры. Поведение реологических тел описывается через соотношения между силами и смещениями. Смещения, в свою очередь, выражают через напряжения и деформации этих тел и получают реологические уравнения, связывающие напряжения и деформации. Феноменологическая модель, характеризуя поведение среды, является основой для составления реологических уравнений сыпучих сред, необходимых для качественного их описания. К основным реологическим свойствам относятся упругость, вязкость и пластичность (необратимая деформация). Отсутствие массы в реологических уравнениях ограничивает их применение вследствие безынерционности элементов модели. Введение в феноменологическую модель элементов массы позволило И.Ф. Гончаревичу учесть инерционность сыпучего материала, напряжения во взаимоперпендикулярных направлениях и сопротивления внешней среды. Разработанные И.Ф. Гончаревичем модели вибrosлоя сыпучего материала были использованы и дали достаточную сходимость с реальными условиями вибродвижения во многих отраслях промышленности. Наибольшее применение среди исследователей получила его одномассная упруговязкая модель (рис. 3).

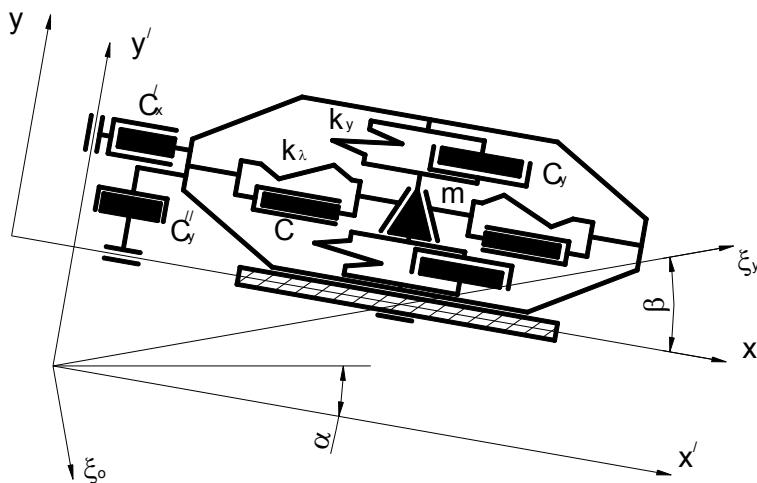


Рисунок 3 – Схема одномассной упруговязкой модели сыпучей среды И.Ф. Гончаревича

Двухмассная инерционная модель [14] позволяет моделировать упруговязкие и пластические свойства различных сыпучих тел. В ней рассматривается, в качестве примера общий случай вибротранспортирования сыпучего тела по грузонесущему органу вибрационной транспортирующей машины, совершающему прямолинейные колебания.

Модель представляет собой двухмассную колебательную систему с массами m и m_0 , связанными между собой упругими элементами жесткости C_x и демпферами с коэффици-

ентами сопротивления k_x . В направлении оси X в режиме совместного движения действуют силы сухого трения, а в режиме свободного движения силы сопротивления - пропорциональные абсолютной скорости перемещения (демпфер с коэффициентом сопротивления k'_x).

Необратимые деформации воспроизводятся клиновым элементом и парой сухого трения. В режиме свободного движения массы m , m_0 по оси Y перемещаются, преодолевая вязкостные силы сопротивления, пропорциональные относительной скорости (демпфер с коэффициентом сопротивления k''_y) и абсолютной скорости (демпфер с коэффициентом сопротивления k'_y).

При движении модели вдоль оси Y в случае отсутствия проскальзывания в клиновом элементе уравнение движения следующее:

$$m\ddot{y} = -m\ddot{\eta} - mg \cos \alpha - k_y \dot{y} - C_y y; \quad (16)$$

при наличии проскальзывания в клиновом теле:

$$m\ddot{y} = -m\ddot{\eta}' - mg \cos \alpha - f_y C_x (x_n + y \operatorname{tg} \alpha_0), \quad (17)$$

где x_n – начальная упругая деформация слоя; $\operatorname{tg} \alpha_0$ – коэффициент, учитывающий уплотнение слоя.

Сила

$$N^{(1)} = k_y \dot{y} + C_y y \quad (18)$$

деформирует сыпучее тело, стремясь вызвать необратимые деформации (сдвинуть клин). Деформации модели будут оставаться упругими до того момента, пока деформирующая сила $N^{(1)}$ не превзойдет сопротивление сдвигу клина:

$$N^{(2)} = f_y C_x (x_n + y \operatorname{tg} \alpha_0). \quad (19)$$

Модель находится в контакте с грузонесущим органом до тех пор, пока нормальная реакция не превратиться в ноль:

$$N^{(1,2)} = \begin{bmatrix} C_y y + k_y \dot{y} \\ f_y C_x (x_n + y \operatorname{tg} \alpha_0) \end{bmatrix} = 0. \quad (20)$$

На этапе свободного движения массы m и m_0 перемещаются совместно:

$$(m + m_0)\ddot{y} = -(m + m_0)\ddot{\eta} - (m + m_0)g \cos \alpha - k''_y \dot{y} - k'_y (\dot{y} + \dot{\eta}). \quad (21)$$

Движение массы m в режимах совместного и свободного движения описывается одним уравнением

$$m\ddot{x} = -m\ddot{\zeta} - mg \cos \alpha - k_x (\dot{x} - \dot{x}_0) - C_x (x - x_0). \quad (22)$$

Сила $k_x (\dot{x} - \dot{x}_0) + C_x (x - x_0)$ деформирует сыпучее тело и воздействует на массу m_0 .

Для массы m_0 на этапе совместного движения характерны следующие режимы:

1) относительное равновесие

$$\dot{x}_0 = 0. \quad (23)$$

Модель остается на грузонесущем органе в относительном покое, если сдвигающая массу m_0 сила не превосходит по абсолютной величине предельного значения силы статического трения $fN^{(1,2)}$ (здесь f – коэффициент трения покоя груза о грузонесущий орган); сила сухого трения меняет свое направление в зависимости от характера движения груза;

2) уравнение скольжения сыпучего тела имеет вид

$$m_0 \ddot{x}_0 = -m_0 \ddot{\zeta} + m_0 g \cos \alpha + f \begin{bmatrix} C_y y + k_y \dot{y} \\ f_y C_x (x_n + y \operatorname{tg} \alpha_0) \end{bmatrix} \operatorname{sgn}(\dot{x}_0) + k_x (\dot{x} - \dot{x}_0) + C_x (x - x_0); \quad (24)$$

3) на этапе свободного движения уравнение для массы m_0 следующее:

$$m_0 \ddot{x}_0 = -m_0 \ddot{\zeta} - m_0 g \sin \alpha + k_x (\dot{x} - \dot{x}_0) + C_x (x - x_0) - k'_x (\dot{x} + \dot{\zeta}). \quad (25)$$

Для нахождения моментов перехода от одного режима движения к другому используют трансцендентные уравнения, которые определяют выбор требуемого уравнения и начальных условий для его решения, так как решение и аналитически, и на моделирующих устройствах производится методом припасовывания.

Момент перехода от участка поперечной упругой деформации модели к пластической t_{yn} и обратно t_{ny} определяется в результате решения трансцендентного уравнения, полученного приравниванием $N^{(1)}$ и $N^{(2)}$

$$C_y y + k_y \dot{y} \geq f_y C_x (x_n + y \operatorname{tg} \alpha_0), \quad (26)$$

$$C_y y + k_y \dot{y} \leq f_y C_x (x_n + y \operatorname{tg} \alpha_0). \quad (27)$$

Переход от скольжения модели к остановке $t_{\pm 0}$ происходит в момент $\dot{x} = 0$ и при условии, что силы статического трения в этот момент больше или равны силе, стремящейся перевести груз в режим проскальзывания:

$$f | N^{(1,2)} | \geq -m_0 \ddot{\eta} + m_0 g \sin \alpha + k_x (\dot{x} - \dot{x}_0) + C_x (x - x_0). \quad (28)$$

Обратный переход от остановки к скольжению (момент $t_{0\pm}$) происходит при условии, что силы статического трения не превышают модуля силы, стремящейся перевести модель в режим проскальзывания:

$$f | N^{(1,2)} | < -m_0 \ddot{\zeta} + m_0 g \sin \alpha + k_x (\dot{x} - \dot{x}_0) + C_x (x - x_0). \quad (29)$$

Момент перехода от совместного движения к свободному (момент отрыва груза t_0) определяется в результате решения следующего трансцендентного уравнения:

$$N^{(1,2)} = 0. \quad (30)$$

В момент t_n происходит падение модели груза на грузонесущий орган и начинается фаза соударения. Этот момент определяется трансцендентным уравнением $y(t) = 0$.

Проведённый анализ показал:

1) существует несколько базовых моделей движения слоя материала для вибрационных побудителей истечения;

2) за основу при описании процесса вибрационного выпуска материалов целесообразно принять двухмассную упруговязкопластичную модель И.Ф. Гончаревича, которая учитывает реологические свойства материалов. Но эта теория, в первую очередь, предназначена для общего случая вибрационного транспортирования, при котором сила тяжести, если и существует, то играет вспомогательную роль, а основной силой является вынуждающая сила вибровозбудителя. В отличие от вибротранспортирования при вибро выпуске сила тяжести является основной вынуждающей силой, а вибрационное воздействие служит, преимущественно, для побуждения материала к истечению, предотвращения его зависания и снижения энергоёмкости процесса разгрузки материалов. Поэтому в принятой модели необходимо учесть указанные особенности процесса вибрационного

выпуска материалов.

Список литературы

1. Lindner G. Forderrinne. Die Fordertecynik. - 1972. - h. 2.
2. Спиваковский А.О. Конвейерные установки. Качающиеся конвейеры. - Харьков; Днепропетровск. - Госиздат. Украины, 1963. - Ч. II.
3. Лавенделл Э.Э. Интенсификация безотрывных процессов вибротранспортирования. Вопросы динамики и прочности. - Рига, 1969. - Вып. 18.
4. Гулбе А.К. Оптимальные законы движения лотка с заданными пределами ускорения и перемещения при безотрывной прямой вибротранспортировке и при наличии сил сухого и вязкого трения. Вопросы динамики и прочности. - Рига, 1969. - Вып. 18.
5. Дьячков В.К. Исследования вибрационных конвейеров и питателей с различными типами приводов // Сб. Применение вибротехники в горном деле. - Госагротехиздат, 1960.
6. Ренгелис П.Я. Об определении скорости виброперемещения сыпучих материалов с учетом вибровязких свойств // Динамика и надежность с/х машин. - Тр. Латв. с/х акад. - 1982. - Вып. 202. - С. 133-139.
7. Блехман И.Н. Вибрационное перемещение / И.Н. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе. - М.: Наука, 1964.
8. Grubak A. Pehub z rniteto materialu na Skrutkovom vibracnom dapravniku a vypocet Vykony // Dinamika Sdtrajor 2, - Bratislava, 1966.
9. Зернов Е.В. Теоретические и экспериментальные исследования процесса вибробункеризации насыпных грузов для горных транспортно-бункерных машин. - Автореф. дис... канд. техн. наук. - М., 1966. - 186 с.
10. Геберсон А. Движение частицы на вибрационном транспортере // Конструирование и технология машиностроения: Тр. американского общества инженеров-механиков - М.: Мир, 1972. - № 1. - 53 с.
11. Учитель А.Д. Вибрационный выпуск горной массы / А.Д. Учитель, В.В. Гущин. - М.: Недра, 1981. - 232 с.
12. Червоненко А.Г. Научные основы создания горных вибрационных транспортно-технологических машин тяжелого типа: - Автореф. дис... докт. техн. наук. - Днепропетровск, 1985. - 448 с.
13. Червоненко А.Г. Математическое моделирование реологических процессов взаимодействия сыпучей среды с вибрационным питателем для выпуска руды. - В кн.: Теория и расчет горных машин. - Киев: Наукова думка, 1982. - С. 101-116.
14. Гончаревич И.Ф. Динамика вибрационного транспортирования. - М.: Наука, 1972. - 244 с.
15. Архипенко А.В. Активные бункерные стенки. - Автореф. дис... канд. техн. наук. - Усть-Каменогорск: 1998. - 136 с.

Получено 8.05.12

УДК 621.867.52

Е.А. Клименко, Г.А. Гурьянов
ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ВИБРАЦИОННОГО ВЫПУСКА КОНЦЕНТРАТА**

На обогатительной фабрике г. Риддера медный концентрат после обогащения подаётся на склад готовой продукции ленточным конвейером, разгружается в приёмный бункер, из которого грейферным краном подаётся в расходный бункер и далее ленточным конвейером транспортируется в железнодорожные вагоны и отправляется потребителям. Самоистечение концентрата из расходного бункера на ленту транспортёра вызывает определённые трудности и требует применения ручного труда для ликвидации сводообразований.

Для поиска приемлемой конструкции расходного бункера и его параметров в лабора-

торных условиях был проведён ряд экспериментов по выпуску влажного концентрата обогатительной фабрики из бункера с ложной вибростенкой. Цель экспериментальных исследований заключалась в определении эффективности вибровыпуска влажного материала. После проведения исследований, по его результатам и результатам расчётов основных параметров планируется разработка бункера с ложной вибростенкой. Обычно конструкции бункеров рассчитывают на гравитационный режим истечения материалов из них, который не всегда обеспечивает равномерную и устойчивую выгрузку [1]. Поскольку реальные материалы часто имеют различные характеристики истечения из бункеров из-за изменения их влажности, гранулометрического состава, наличия в них липких веществ, изменения условий окружающей среды, то в ряде случаев происходит нарушение нормальной работы бункерных устройств с образованием сводов над выпускными отверстиями и прекращением истечения материалов. При этом для возобновления нормального истечения материалов из бункеров требуется разрушить образовавшиеся своды. Наиболее широко применяемым и перспективным способом разрушения образовавшихся сводов материала в бункерах является вибрационный [1]. Для выбора основных параметров проектируемой установки необходимо было экспериментальным путём выявить зависимости скорости и эффективности вибровыпуска влажных материалов от параметров вибрации. С этой целью были выполнены экспериментальные исследования в лабораторных условиях. Выпуск влажного медного концентрата обогатительной фабрики осуществлялся из бункера с ложной вибростенкой с регулируемым виброприводом, колебания которой направлены под углом 20° относительно стенки бункера. Для выявления зависимости скорости и эффективности вибровыпуска от амплитуды и частоты колебаний определялась средняя производительность (средняя скорость движения материала в выпускном отверстии установки) для концентрата различной влажности. Из полностью наполненного бункера при фиксированных значениях частоты и амплитуды колебаний производилась выгрузка части материала в мерный сосуд, и определялось время выпуска выгруженной части материала.

При проведении эксперимента постоянными параметрами являлись: размеры выпускного отверстия ($0,05 \times 0,325$ м), угол наклона вибростенки к горизонту (20 град).

За переменные факторы принимались: амплитуда колебаний вибростенки ($0,2 \dots 2,5 \cdot 10^{-3}$ м, частота колебаний вибростенки ($105 \dots 185$) с^{-1}).

Эксперимент проводился с шестью различными значениями влажности медного концентрата: $W_1=4,0\%$, $W_2=7,5\%$, $W_3=8,4\%$, $W_4=9,0\%$, $W_5=10,2\%$, $W_6=11,0\%$ и одним значением влажности песка $W_7=10,0\%$.

Экспериментальные исследования проводились двумя методами: весовым и объёмным. Полученные значения заносились в таблицу. После этого строились графики зависимостей скорости вибровыпуска медного концентрата от амплитуды колебаний для различных значений частот колебаний, представленные на рис. 1-7. Анализ полученных зависимостей скорости вибровыпуска концентрата различной влажности от амплитуды и частоты колебаний вибростенки $V_{cp}=V_{cp}(A, \omega)$ показывает, что при влажности $W_1=4,0\%$ с увеличением амплитуды колебаний скорость вибровыпуска растёт интенсивнее, нежели с увеличением частоты колебаний; при влажности $W_2=7,5\%$ наблюдается аналогичная зависимость; при влажности $W_3=8,4\%$ данная зависимость наблюдается только на амплитудах колебаний больше, чем $A=1,25 \cdot 10^{-3}$ м, при меньших значениях кривые имеют более пологую форму, т.е. эффективность вибровыпуска начинает зависеть больше от частоты

колебаний, чем от амплитуды; при влажности $W_4 = 9,0\%$ такая же зависимость наблюдается при значениях амплитуды меньших, чем $A=1,5 \cdot 10^{-3}$ м, при больших значениях амплитуды колебаний графики имеют больший угол наклона, а также большее влияние на эффективность имеет амплитуда колебаний; при влажности $W_5=10,2\%$ зависимости $V_{cp}=V_{cp}(A, \omega)$ представляют собой кривые с большим углом наклона, где с увеличением амплитуды наблюдается интенсивный рост скорости выбро выпуска, особенно при переходе на более высокие частоты колебаний; при влажности $W_6=11,0\%$ все кривые находятся в одной области, но предыдущая зависимость сохраняется. Для сравнения производительностей выбро выпуска медного концентрата и песка были проведены также экспериментальные исследования с песком, при этом для последнего выяснилось, что большее влияние имеет частота, чем амплитуда колебаний.

На основе проведённого анализа можно сделать следующие выводы:

1. При выпуске концентрата на величину средней скорости существенное влияние оказывает относительная влажность материала.
2. Добиваться высокой эффективности выбро выпуска при малой динамической нагрузке привода выбростенки для концентрата влажностью от 4,0 % до 9,0 % следует, увеличивая амплитуду колебаний, оставляя при этом частоту на уровне $\omega=145 \text{ c}^{-1}$.
3. Для концентрата влажностью выше 9,0 % рекомендуется увеличивать частоту колебаний, оставляя амплитуду минимальной, например, назначая частоту колебаний $\omega=185 \text{ c}^{-1}$, а амплитуду $A=1,25 \cdot 10^{-3}$ м.

Результаты экспериментальных исследований зависимости скорости вибрации от амплитуды и частоты колебаний для концентрата влажностью W = 4,0 %

Амп- туда коле- баний $A_1, \text{мм}$		Измеренные и вычисленные значения												
		$\alpha=20^\circ$					$S=0,01625 \text{ м}^2$					$W=4,0\%$		
$\omega = 105 \text{ Гц}$	$\omega = 125 \text{ Гц}$	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$M_1, \text{кг}$	$M_2, \text{кг}$	$M_3, \text{кг}$	$V_1 \cdot 10^{-2}, \text{м}$	$V_2 \cdot 10^{-2}, \text{м}$	$V_3 \cdot 10^{-2}, \text{м}$	$Q_1 \cdot 10^{-4}, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_2 \cdot 10^{-4}, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_3 \cdot 10^{-4}, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_{cp} \cdot 10^{-4}, \text{м}^3/\text{с}$	$V_{cp} \cdot 10^{-2}, \text{м}/\text{с}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,50	100	100	100	32	31	32	1,476	1,430	1,476	1,476	1,430	1,476	1,461	0,899
0,75	45	45	45	36	36	36	1,660	1,660	1,660	3,689	3,689	3,689	3,689	2,270
1,00	42	42	42	37	36	32	1,706	1,660	1,476	4,062	3,952	3,514	3,843	2,365
1,50	23	23	23	41	42	41	1,891	1,937	1,891	8,222	8,422	8,222	8,289	5,101
2,00	16	16	16	36	34	34	1,660	1,568	1,568	10,375	9,800	9,800	9,992	6,149
2,50	15	15	15	38	36	37	1,752	1,660	1,706	11,680	11,067	11,373	11,373	6,999
0,50	56	56	56	37	33	33	1,706	1,522	1,522	3,046	2,718	2,718	2,827	1,740
0,75	34	34	34	33	32,5	1,568	1,522	1,499	4,612	4,476	4,409	4,499	4,499	2,769
1,00	26	24	24	43,5	39	39	2,006	1,798	1,798	7,715	7,492	7,492	7,566	4,656
1,50	17	17	17	37	36	36	1,706	1,660	1,660	10,035	9,765	9,765	9,855	6,065
2,00	14,5	14,5	14,5	38	39	38,5	1,752	1,798	1,775	12,083	12,400	12,241	12,241	7,533
2,50	14	14	14	39	39	37,5	1,798	1,798	1,729	12,843	12,843	12,350	12,679	7,802
0,50	52	52	52	34	35	35	1,568	1,614	1,614	3,015	3,104	3,104	3,074	1,892
0,75	33,5	33,5	33,5	35,5	36	37	1,637	1,660	1,706	4,887	4,955	5,093	4,978	3,063
1,00	26,5	27	26,5	34,5	33	1,591	1,591	1,522	6,004	5,893	5,743	5,880	3,618	
1,50	18	18	18	36,5	35,5	36,5	1,683	1,637	1,683	9,350	9,094	9,350	9,265	5,702
2,00	15	15	14	38	39	34	1,752	1,798	1,568	11,680	11,990	11,200	11,623	7,153
2,50	11	11	11	35	34,5	34,5	1,614	1,591	1,591	14,673	14,464	14,464	14,534	8,944

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0,50	48	48	48	35	36	39,5	1,614	1,660	1,822	3,363	3,458	3,796	3,539	2,178	
0,75	30	30	32	32	32	1,476	1,476	1,476	4,920	4,920	4,920	4,920	4,920	3,028	
1,00	24	24	24	38	36	1,752	1,660	1,660	7,300	6,917	6,917	7,045	7,045	4,335	
1,50	16	16	16	35	35	1,614	1,614	1,614	10,088	10,088	10,088	10,088	10,088	6,208	
2,00	11,5	11,5	11,5	32,5	34	32,5	1,499	1,568	1,499	13,035	13,635	13,035	13,235	13,235	8,145
2,50	10,5	10,5	10,5	33	35,5	33,5	1,522	1,637	1,545	14,495	15,590	14,714	14,933	14,933	9,100
0,50	37,5	37,5	33	33	31,5	1,522	1,522	1,453	4,059	4,059	4,059	3,875	3,998	3,998	2,460
0,75	23,5	23,5	33	29	31,5	1,522	1,337	1,453	6,477	5,689	6,183	6,116	6,116	3,764	
1,00	18	18	18	34	31,5	32	1,568	1,453	1,476	8,711	8,072	8,200	8,328	8,328	5,125
1,50	15,5	14,5	14	38	37	34,5	1,752	1,706	1,591	11,303	11,766	11,364	11,478	11,478	7,063
2,00	10	14	14	27	37,5	37,5	1,245	1,729	1,729	12,450	12,350	12,350	12,383	12,383	7,620
2,50	13	13	13	34,5	35	33	1,591	1,614	1,522	12,238	12,415	11,708	12,120	12,120	7,459

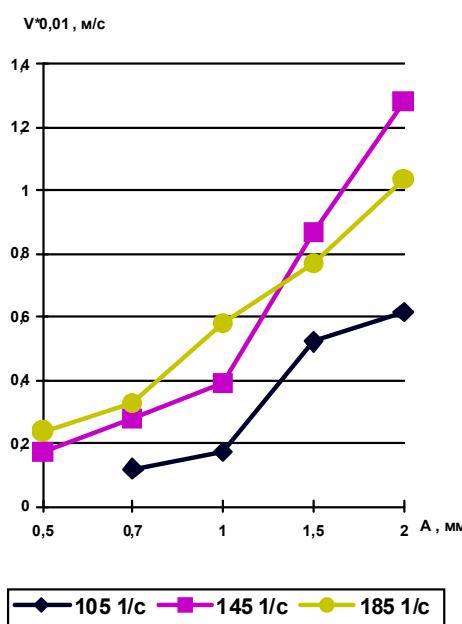


Рисунок 1 – Графики зависимости скорости вибровыпуска от амплитуды колебаний на различных частотах колебаний для концентрата влажностью $W_1 = 4,0 \%$

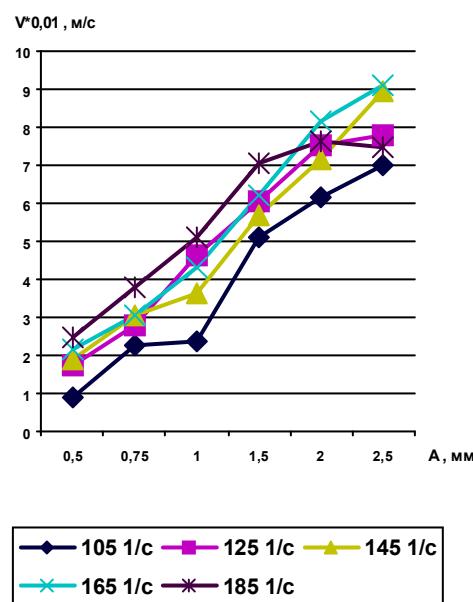


Рисунок 2 – Графики зависимости скорости вибровыпуска от амплитуды колебаний на различных частотах колебаний для концентрата влажностью $W_2 = 7,5 \%$

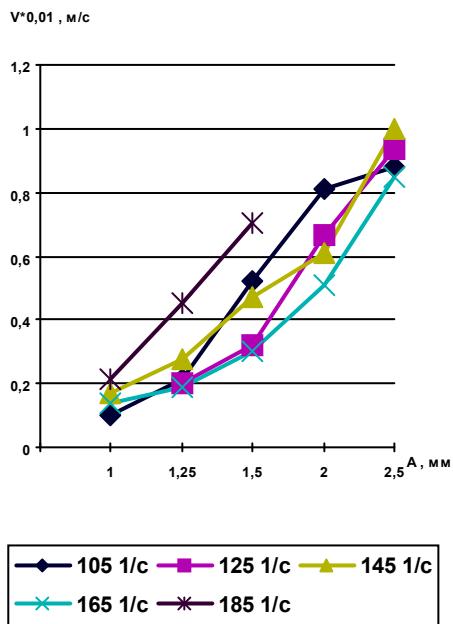


Рисунок 3 – Графики зависимости скорости вибровыпуска от амплитуды колебаний на различных частотах колебаний для концентрата влажностью $W_3 = 8,4 \%$

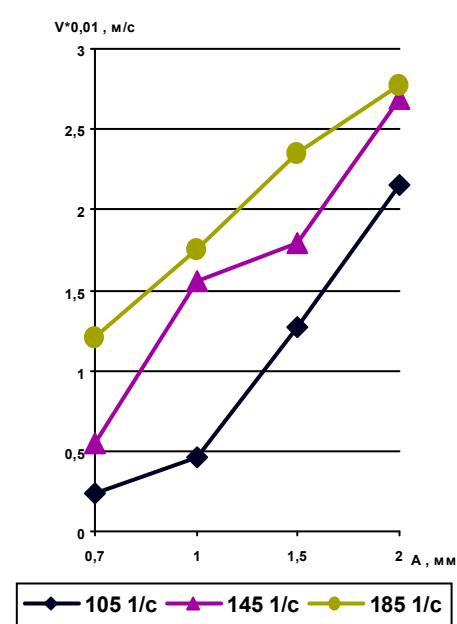


Рисунок 4 – Графики зависимости скорости вибровыпуска от амплитуды колебаний на различных частотах колебаний для концентрата влажностью $W_4 = 9,0 \%$

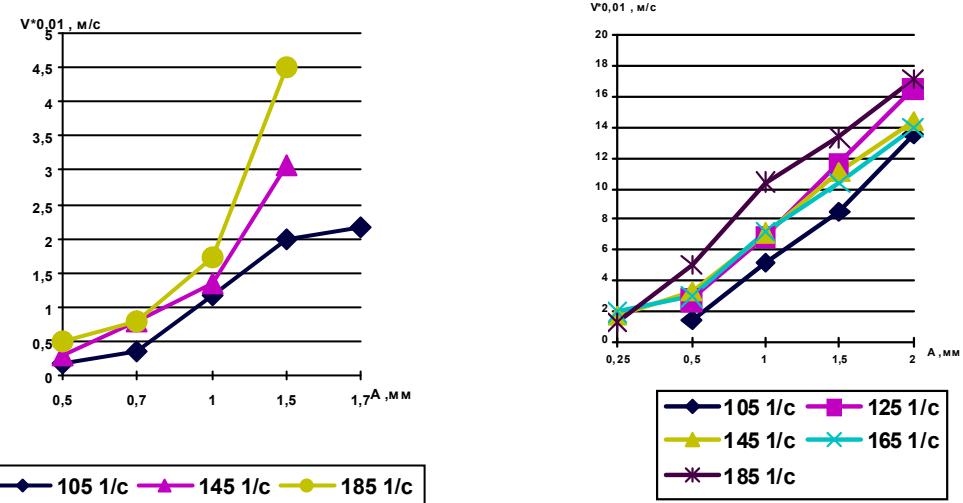


Рисунок 5 – Графики зависимости скорости вибровыпуска от амплитуды колебаний на различных частотах колебаний для концентрата влажностью $W_5 = 10,2\%$

Рисунок 6 – Графики зависимости скорости вибровыпуска от амплитуды колебаний на различных частотах колебаний для концентрата влажностью $W_6 = 11,0\%$

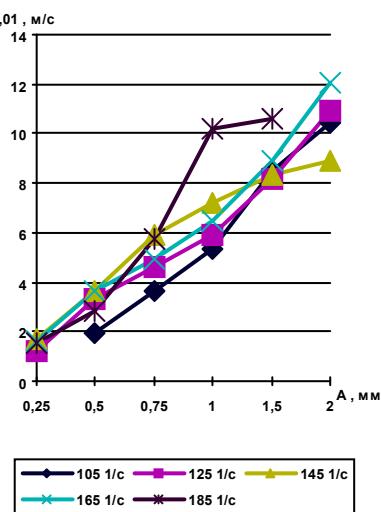


Рисунок 7 – Графики зависимости скорости вибровыпуска от амплитуды колебаний на различных частотах колебаний для песка влажностью $W_7 = 10,0\%$

Список литературы

1. Вибрационные машины в строительстве и производстве строительных материалов: Справочник / Под ред. В.А. Баумана. - М.: Машиностроение, 1970. - 548 с.
2. Методические указания по определению параметров вибрационных машин, применяемых на предприятиях стройиндустрии для студентов специальностей 0511, 1617, 1609. - Алма-Ата: Изд. Н. лек., 1985. - 44 с.

Получено 8.05.12

УДК 629.113-192

А.А. Леонов, М.С. Муздыбаев, А.С. Муздыбаева, Д.М. Мырзабекова
ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОТКАЗНОСТИ ГОРОДСКИХ АВТОБУСОВ

Общественный транспорт в большинстве городов Казахстана морально и физически устарел. ТОО «Ульба-Транспорт» в числе первых предприняло шаги по обновлению парка автобусов г. Усть-Каменогорска. Выбор был остановлен на городских маршрутных автобусах Yutong 6108 HGH (производство КНР). Выбор обоснован тем, что данный автобус изготавливается по лицензии компании MAN (Германия) и по соотношению «цена–качество» является рациональным. Другие транспортные компании также приобретают автобусы указанной марки.

Известно, что на надежность транспортной техники оказывает влияние множество факторов. От безотказности их работы зависит эффективность и бесперебойное функционирование городского общественного транспорта в целом. Следует отметить, что автобусы работают на городских маршрутах в достаточно сложных дорожных условиях. В результате возникают отказы деталей и узлов подвески и ходовой части, наиболее подверженных влиянию эксплуатационных нагрузок и воздействию дорожного фактора. Выявление наиболее часто отказывающих элементов конструкции позволит проанализировать причины их отказов и предложить обоснованные решения по поддержанию надежности машин в эксплуатации. В связи с этим исследование безотказности подвески и ходовой части городских маршрутных автобусов модели Yutong 6108 HGH является актуальным и практически значимым.

Ранее проведенными исследованиями [1] установлено, что распределения наработок элементов до отказа описываются различными теоретическими законами. Как правило, основная часть распределений не противоречит законам Гаусса и Вейбулла. Отмечено, что для выявления значений показателей безотказности узлов подвески и ходовой части автобусов следует выбирать наиболее достоверный метод - испытание в реальных условиях эксплуатации. Опираясь на методические рекомендации по организации испытаний транспортных машин на надежность, были проведены эксплуатационные испытания автобусов модели Yutong 6108 HGH.

Произведен анализ собранной статистической информации. В результате обработки статистической информации выявлены наиболее часто отказывающие элементы подвески и ходовой части автобусов. В частности, номенклатура элементов подвески и ходовой части, лимитирующих надежность автобуса Yutong 6108 HGH, определена по методу Парето, исходя из суммы отказов деталей по системам за период наблюдений. На рис. 1 указанные элементы расположены в порядке убывания долей их отказов от общего числа отказов элементов подвески и ходовой части. Для автоматизированной обработки статистических данных с целью определения точечных оценок параметров распределения наработок на отказ элементов, последующей их аппроксимации подходящим теоретическим законом (нормальный, лог-нормальный, Эрланга, Вейбулла и экспоненциальный) с проверкой согласия была использована программа [2] с применением средств Microsoft Excel for Windows. Как видно, наиболее часто отказывающим элементом подвески авто-

буса Yutong 6108 HGH являются коренные листы рессор. При этом наиболее часто отказывающим элементом ходовой части являются колесные шпильки.

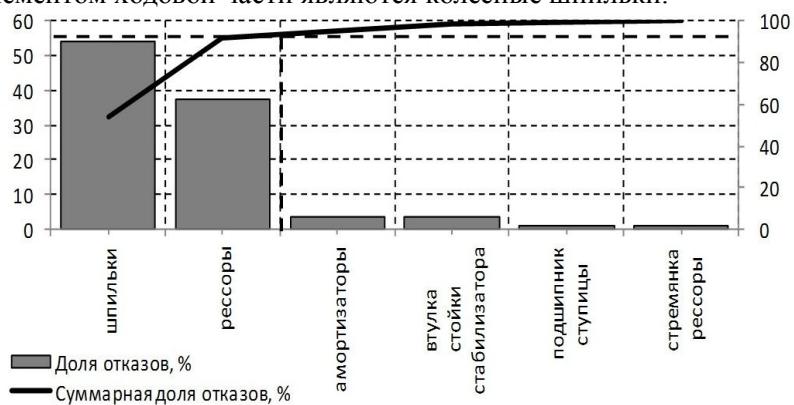


Рисунок 1 - Распределение долей отказов узлов подвески и ходовой части автобусов Yutong 6108 HGH

Установлено, что наработки указанных элементов до первого отказа не противоречат нормальному закону распределения, а наработки до второго отказа не противоречат закону Вейбулла. Результаты аппроксимации распределений наработок рессор и шпилек до первого и второго отказов, соответственно, представлены на рис. 2-4. Произведена оценка достоверности результатов экспериментального исследования применительно к наработкам рессор и шпилек до отказа. Отмечено, что при формировании подконтрольной группы машин важное условие репрезентативности не нарушено.

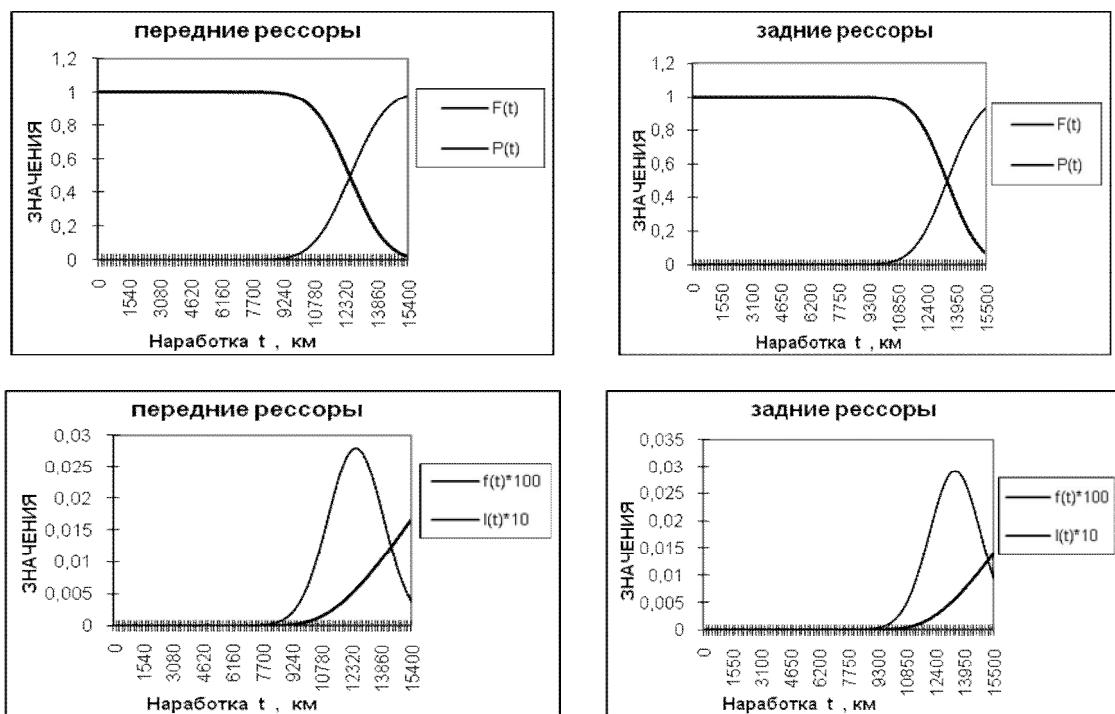


Рисунок 2 - Теоретическое распределение наработки рессор до первого отказа

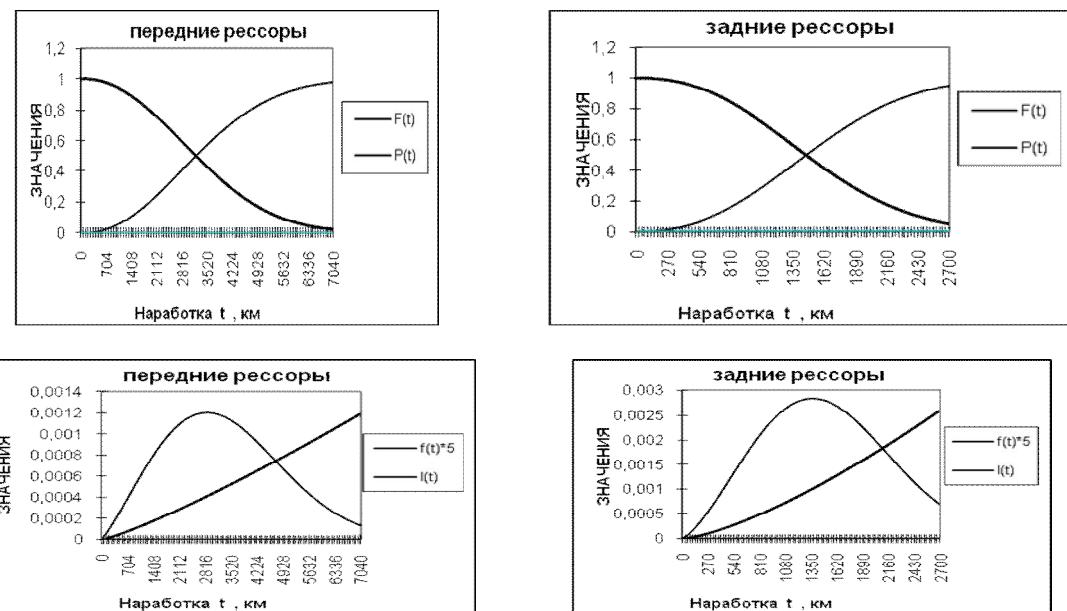


Рисунок 3 - Теоретическое распределение наработки рессор до второго отказа

При определении объема выборки в исследовании принято, что доверительная вероятность $\alpha = 0,90 \div 0,95$ и точность выборочных характеристик $\varepsilon = 0,10 \div 0,15$. Применительно к наработкам рессор и шпилек до отказа определены доверительные границы. Установлено, что количество наблюдений, необходимых для обеспечения доверительной вероятности и точности, является достаточным и не превышает объема выборки. Таким образом, достоверность значений наработок рессор и шпилек до отказа, полученных экспериментальным путем, не вызывает сомнений.

С учетом результатов испытаний автобусов на надежность проведен анализ безотказности передней и задней рессор, а также колесных шпилек. Выявлено, что потеря несущей способности подвески автобуса происходит из-за отказа основного элемента подвески – коренного листа рессоры. Отказ происходит по причине образования усталостных трещин (рис. 5) и последующего излома в зоне образования трещины в рессоре (рис. 6).

Установлено, что основным фактором, повлекшим данные отказы, являются усталость материала и накопленные повреждения по причине динамических перегрузок, возникающих в сложных дорожных условиях, а именно неудовлетворительного состояния дорожного полотна (неровности в дорожной одежде, отмечено местами ее полное отсутствие на участках 10 м и более). Неудовлетворительное состояние дорожного полотна влечет создание относительно высоких значений ударных нагрузок, на которые не рассчитана конструкция подвески автобуса Yutong 6108 HGH. Кроме того, немаловажным фактором возникновения отказов является неконтролируемая затяжка болтов стремянки рессоры при техническом обслуживании, что может приводить к возникновению дополнительных напряжений в данном элементе подвески в месте расположения центрального

болта.

В результате теоретического и экспериментального исследований предложен способ повышения несущей способности и выносливости листов рессор автобуса Yutong 6108 HGN. Предположено, что наиболее рациональным решением является подбор аналога с более высокими прочностными качествами. Поиск, проведенный совместно с инженерно-техническими работниками ТОО «Ульба-Транспорт», показал, что конструктивно к подвеске автобуса подходят листы рессор автомобиля КамАЗ 55111 («евро»-модификация), которые по геометрическим параметрам соответствуют размерам рессорных листов автобуса. Расчетная оценка несущей способности показала, что коренной лист рессоры № 55111-2912012-02 (по каталогу) КамАЗ имеет более высокую несущую способность по сравнению с коренными листами рессор исследуемых автобусов (на 60 %). Разработаны рекомендации по применению листов рессоры.

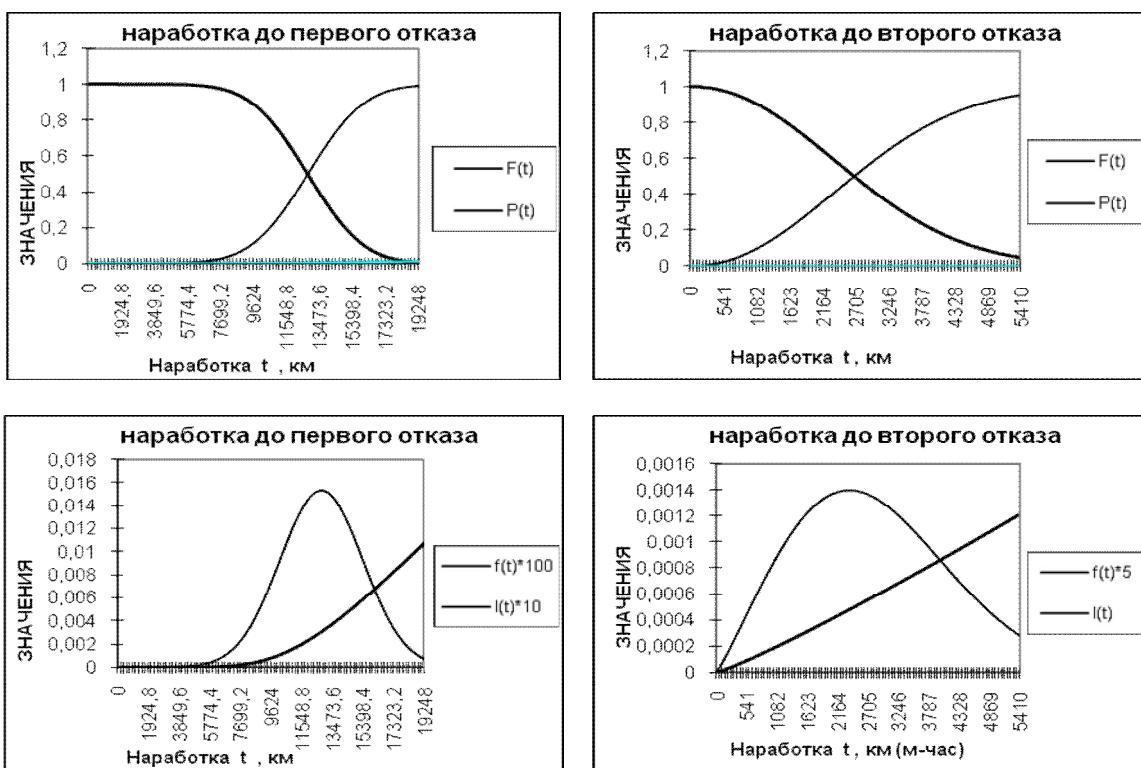


Рисунок 4 - Теоретическое распределение наработки колесных шпилек до первого и второго отказа

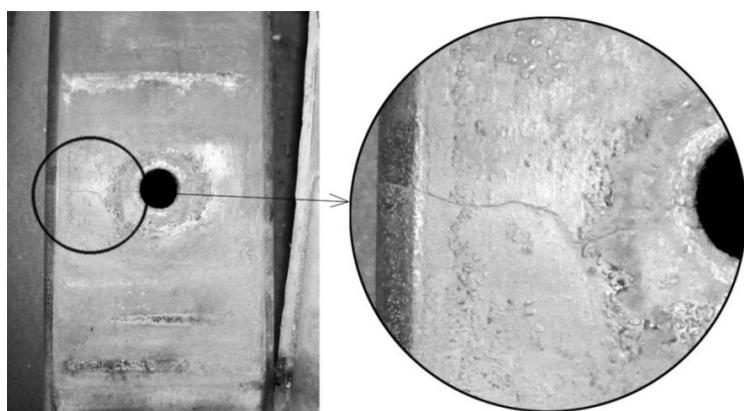


Рисунок 5 - Образование трещины в листе рессоры



Рисунок 6 - Часть листа рессоры после излома

В результате теоретического и экспериментального исследований предложен способ повышения несущей способности и выносливости листов рессор автобуса Yutong 6108 HGH. Предположено, что наиболее рациональным решением является подбор аналога с более высокими прочностными качествами. Поиск, проведенный совместно с инженерно-техническими работниками ТОО «Ульба-Транспорт», показал, что конструктивно к подвеске автобуса подходят листы рессор автомобиля КамАЗ 55111 («евро»-модификация), которые по геометрическим параметрам соответствуют размерам рессорных листов автобуса. Расчетная оценка несущей способности показала, что коренной лист рессоры № 55111-2912012-02 (по каталогу) КамАЗ имеет более высокую несущую способность по сравнению с коренными листами рессор исследуемых автобусов (на 60 %). Разработаны рекомендации по применению листов рессоры.

В процессе эксплуатационных испытаний также выявлено, что потеря работоспособности ходовой части автобуса происходит из-за колесных шпилек. Установлено, что отказы шпилек происходят по причине образования трещин и последующего излома в резьбовой части (рис. 7) на границе ее примыкания к футорке, осуществляющей затяжку

шпильки. Характер излома шпильки (рис. 7, вид с торца) соответствует хрупкому разрушению деталей сплошной структуры с высокой твердостью. Данная гипотеза как наиболее вероятная была принята за основу в дальнейших исследованиях.

Для подтверждения данной гипотезы о хрупком разрушении шпильки было выполнено экспериментальное исследование твердости шпилек на испытательной базе метрологической лаборатории АО «Востокмашзавод», которая аттестована на соответствие квалификационным требованиям к метрологическим испытательным лабораториям. Исследование твердости материала шпилек показало, что в зоне излома материал шпильки имел относительно высокую твердость как на поверхности, так и в сердцевине (рис. 8). Значения твердости по поверхности резьбовой части составили 41÷48 единиц по HRC, значения твердости в сердцевине - 35÷39 единиц по HRC. Таким образом, результаты измерений показали высокую вероятность того, что шпильки склонны к хрупкому разрушению.

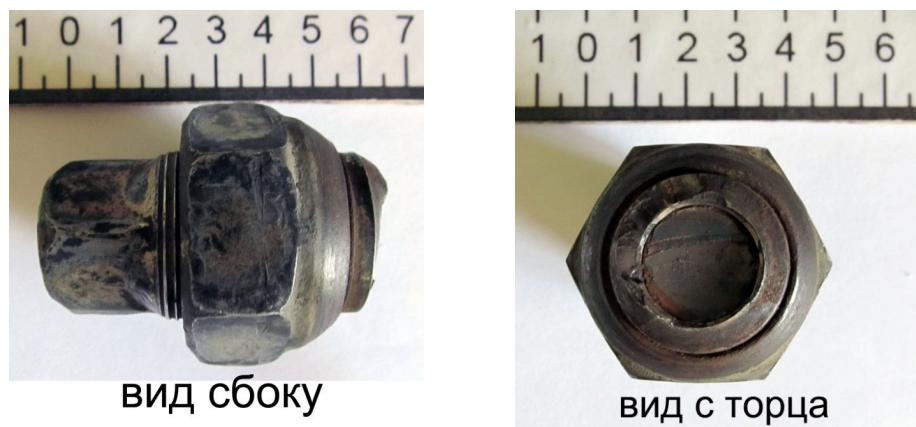


Рисунок 7 - Шпилька с футторкой и гайкой после излома

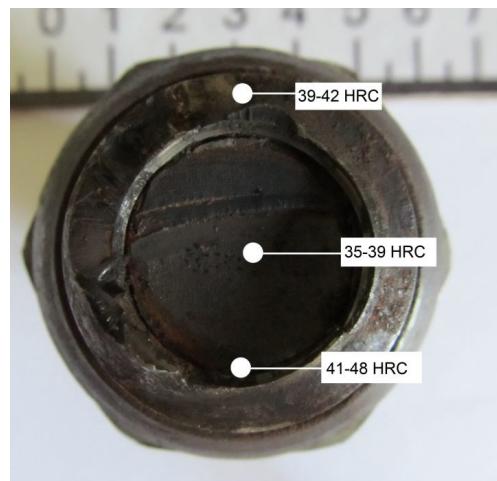


Рисунок 8 - Результаты измерений твердости

Кроме того выявлено, что на предприятии отсутствует технологическая документация на техническое обслуживание колесных механизмов, где должны быть указаны моменты затяжки шпилек. Поэтому возможно превышение момента затяжки шпилек при установке колеса, которое может приводить к возникновению дополнительных напряжений в материале шпильки и ее разрушению при динамических нагрузках в процессе движения по неровностям дороги. В результате исследований предложен способ повышения несущей способности и выносливости колесных шпилек автобуса Yutong 6108. На наш взгляд, наиболее рациональным решением является подбор аналога с более высокими прочностными качествами. Поиск показал, что к ступице автобуса подходят безфутурочные шпильки, которые по геометрическим параметрам соответствуют размерам заводских шпилек автобуса фирмы Yutong.

Для оценки прочности безфутурочных шпилек, предлагаемых к установке взамен изламывающихся, были проведены измерения твердости поверхности резьбовой части в зоне прилегания колесной гайки в сечении отверстия диска колеса (рис. 9). Измерения показали, что твердость рабочей поверхности шпильки составляет 30...35 единиц по HRC, что свидетельствует о ее меньшей склонности к хрупкому разрушению. Это позволяет повысить надежность крепления колеса к ступице. На основе проведенных исследований разработаны рекомендации по применению более прочной безфутурочной шпильки.



Рисунок 9 - Результаты измерений твердости шпильки

Ходовые испытания и дальнейшая подконтрольная эксплуатация автобусов в течение одного года показали высокую безотказность установленных коренных листов рессор и безфутурочных шпилек – после их установки отказов данных элементов не зафиксировано.

Список литературы

1. Кугель Р.В. Надежность машин массового производства. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.
2. Муздыбаев М.С. Оптимизация показателей надежности узлов транспортных и дорожных машин: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04. – Алматы, 1998. – 22 с.

Получено 17.04.12

УДК 668.14.018.252.3

Б.К. Рахадилов, М.К. Скаков, Б.М. Кабланбеков
ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

ТЕРМИЧЕСКАЯ И ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ОБРАБОТКА ПОКРЫТИЙ ИЗ TiN

В последние десятилетия проводятся интенсивные исследования взаимосвязи структурно-фазового состояния и функциональных свойств покрытий на основе TiN в зависимости от методов и условий их синтеза. Их широкое использование в качестве твердых, износостойких покрытий режущего инструмента, диффузионных барьеров в электронике, декоративных и антикоррозионных покрытий, тонких пленок микроэлектромеханических систем и т.д. обусловлено тем, что нитрид титана обладает высокой твердостью и химической стабильностью, низким коэффициентом трения, высокими сопротивлением коррозии и износостойкостью [1]. Снижение пористости плазменного металлокерамического покрытия при одновременном повышении прочности его связи с подложкой возможно путем термической обработки покрытия. Реализовать на практике высокотемпературную обработку покрытия без нагрева напыляемой основы возможно при лазерном, ионном или электронном облучении покрытия [2, 3]. В настоящей работе поставлена задача исследовать возможность модификации защитного покрытия из TiN с помощью термической и электронно-лучевой обработки и установить влияние отжига и электронного облучения на структурно-фазовые состояния и механические свойства защитного покрытия из TiN.

Методом магнетронного напыления на образцы из сплава 67KH5B, которые использовались в качестве подложки, были нанесены покрытия из нитрида титана толщиной примерно 1-2 мкм. Распыление металлической мишени производилось в смеси рабочего газа Ar+N₂. Температура подложки при напылении не превышала 100 °C. Образцы для облучения изготавливались в виде прямоугольных параллелепипедов со сторонами 20×20×0,5 мм³. Облучение электронами проводили по режиму: энергия электронного пучка 1,3 МэВ, плотность тока 10 мкА/см², интегральная доза облучения 0,08·10¹⁹÷0,52·10¹⁹ е⁻/см². Исследования фазового состава и кристаллической структуры образцов осуществляли методами рентгеноструктурного анализа на дифрактометре X'Pert Pro с использованием CuK_α-излучения. Морфологию структуры поверхности изучали на растровом электронном микроскопе JSM-6390LV, оснащенным приставкой энергодисперсионного анализа. Измерение микротвердости (Н_μ) образцов проводили по методу Виккерса на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузках на индентор - 100, 150 г.

В работе выполнены рентгеноструктурные исследования образцов из сплава 67KH5B с покрытием: после нанесения слоя TiN магнетронным методом (исходные), после отжигов в вакууме в течение 1 часа при T = 500; 800 °C и после облучения электронным пучком.

Рентгенофазовый анализ показал, что в результате отжига в образцах произошли сложные фазовые изменения. В процессе напыления на поверхности сплава образуются частицы фазы нитрида кобальта. Сравнение рентгенограмм образцов сплава 67KH5B с плазменным покрытием из TiN до и после отжига при 500 °C и 800 °C показано на рис. 1.

Основной фазой образцов до отжига является TiN. В образцах обнаружено присутствие трех фаз: TiN, γ -Co и Co₂N (рис. 1, а).

После отжига при T= 500 °C, 1ч в вакууме образец не претерпевает фазовых и структурных изменений. После отжига при 500 °C основной фазой является твердый раствор кобальта и дифракционное отражение нитрида кобальта – Co₂N отсутствует (рис. 1, б).

После отжига при T= 800 °C, 1ч в вакууме дифракционные отражения рефлекса 111 Со отсутствуют. При T= 800 °C, 1ч в вакууме в образце наблюдается появление частиц новых фаз – Ti₂N и NiTi (рис. 1, в).

На рис. 2 приведена микроструктура диффузационного слоя образцов сплава 67KH5Б с покрытием TiN до и после отжига при 800 °C. Видно, что после отжига композиционная система состоит из трех слоев. Для выяснения химического состава этих слоев был проведен микроанализ в режиме энергетического дисперсионного анализа (рис. 2, в).

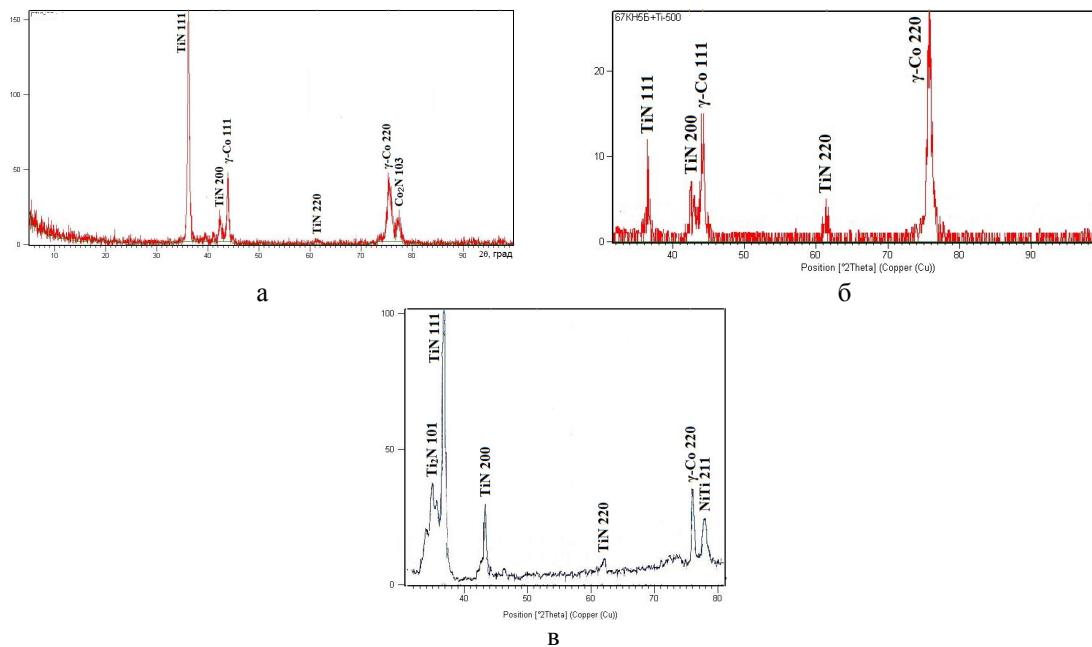


Рисунок 1 - Участки дифрактограмм образцов сплава 67KH5Б с покрытием TiN до (а) и после отжига при 500 °C (б) и 800 °C (в)

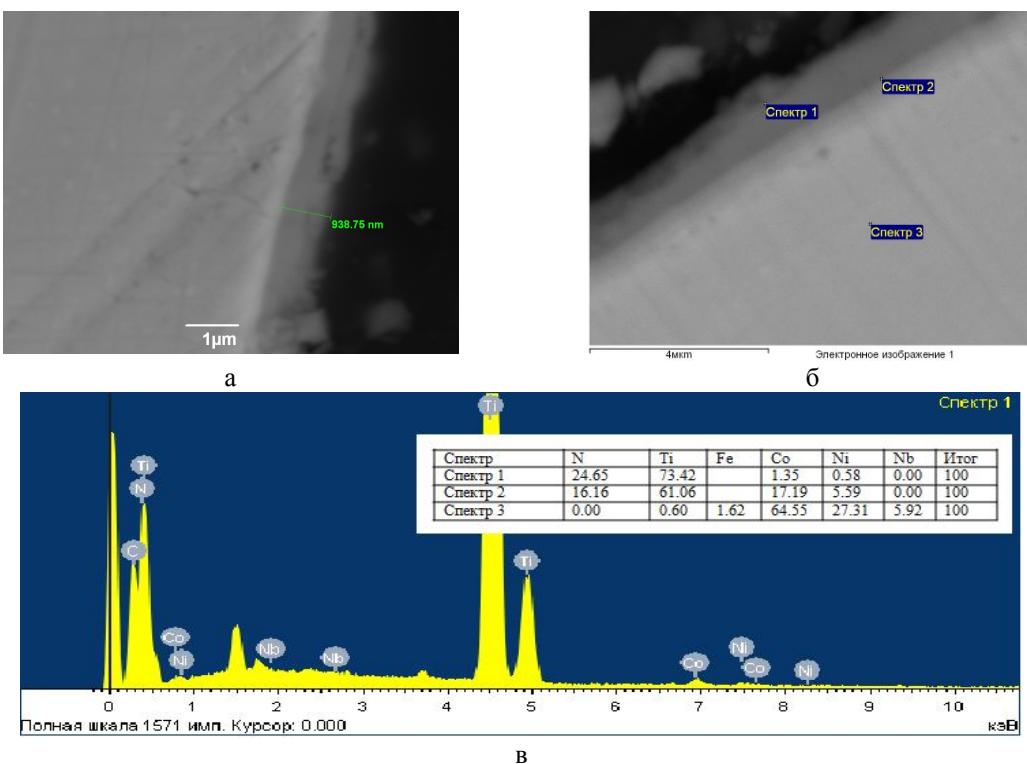


Рисунок 2 – РЭМ-изображения поперечного сечения покрытия TiN до (а) и после отжига 800 °С (б) и результаты рентгеновского микроанализа в области микровыделений (в)

Данные рентгеновского микроанализа о распределении элементного состава в поперечных сечениях композиционных систем из покрытий из TiN и основы из сплава 67КН5Б показывают, что в процессе отжига происходит пространственное перераспределение и массоперенос частиц покрытий и подложки. После отжига в приповерхностных объемах образцов наблюдается образование внешнего (поверхностного) слоя толщиной 1 мкм, содержащего 24,65 ат. % N и 73,42 ат. % Ti. К нему примыкает промежуточный слой состава: 16,16 ат. % N, 61,06 ат. % Ti, 17,19 ат. % Co и 5,59 ат. % Ni. Из таблицы видно, что частицы титана диффундируют на глубину до 4 мкм от поверхности.

Чтобы определить распределение концентрации титана по глубине, был проведен энергодисперсионный микроанализ по линии (рис. 3). На рис. 3 представлено изображение поперечного сечения покрытия TiN после отжига 800 °С и приведена зависимость концентраций элементов от глубины образца.

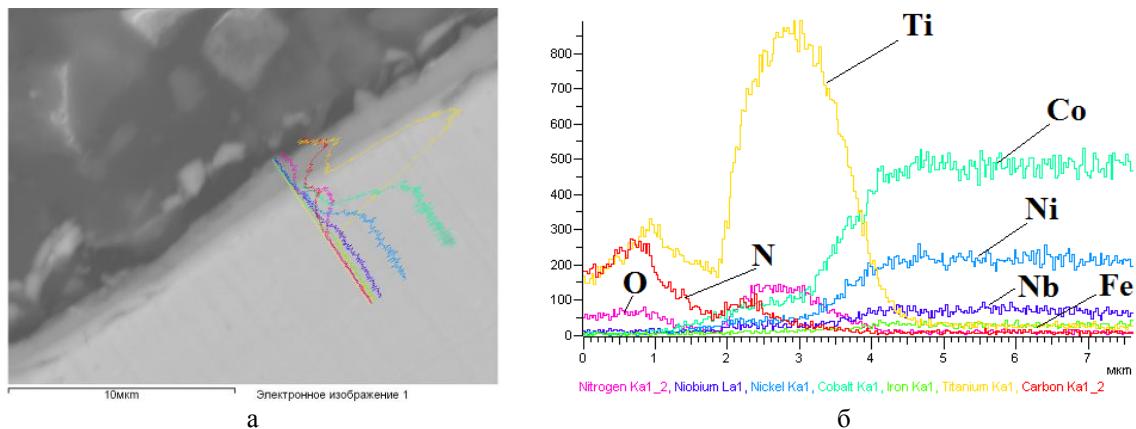
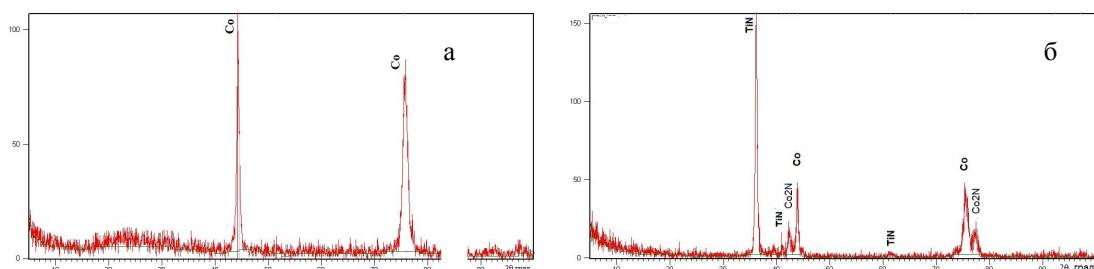


Рисунок 3 – РЭМ-изображение поперечного сечения покрытия TiN после отжига 800 °С (а)
и распределение элементов по линии (б)

Из графика видно, что концентрация титана и азота достигает максимума на глубине 3 мкм от поверхности. Экспериментально установлено, что после отжига при 800 °С на поверхности сплава с покрытием TiN толщиной около 1 мкм образуется модифицированный слой толщиной около 4 мкм. Ниже этого слоя химический состав материала уже соответствует исходному составу.

Рентгеноструктурные исследования образцов сплава 67KH5Б с TiN-покрытием показали, что после облучения электронами дозой $0,08 \cdot 10^{19}$ е⁻/см² на поверхности сплава 67KH5Б в результате реакций между 67KH5Б - подложкой и TiN – пленкой образуются частицы Co₂Ti - фазы. При повышении дозы облучения до $0,52 \cdot 10^{19}$ е⁻/см² наблюдается рост интенсивности дифракционных линий Со.



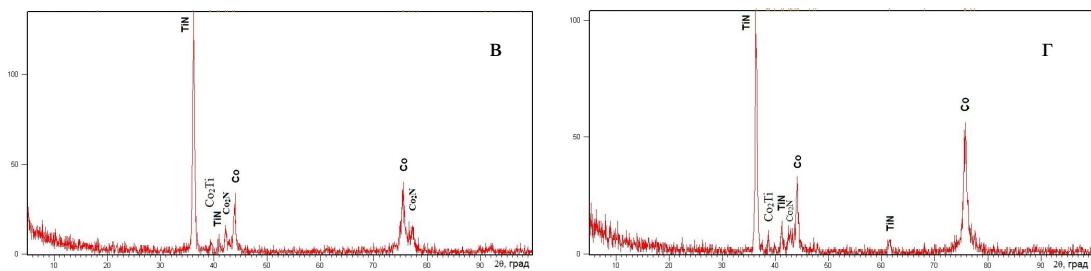


Рисунок 4 - Дифрактограммы сплава 67KH5Б (а) с TiN-покрытием до (б) и после облучения электронами до дозы $0,08 \cdot 10^{19}$ е⁻/см² (в) и $0,52 \cdot 10^{19}$ е⁻/см² (г)

Анализ изображений, полученных методом растровой электронной микроскопии, позволяет заключить, что в результате электронного облучения происходит изменение морфологии поверхности нитрида титана. На поверхности образцов были обнаружены каплеобразные дефекты (рис. 5).

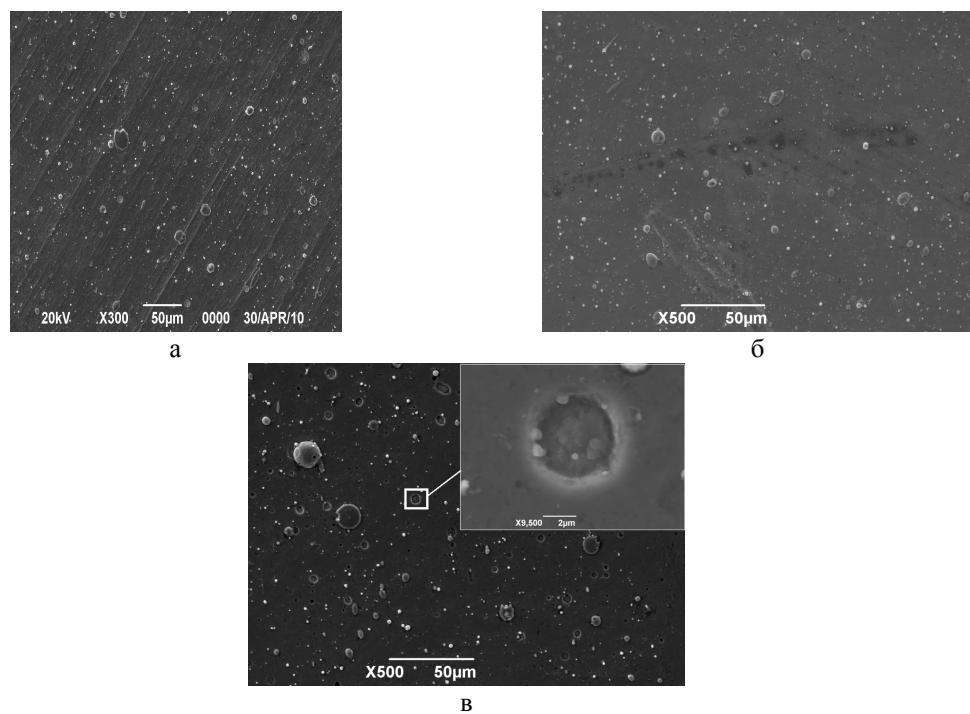


Рисунок 5 - Типичные микроструктуры поверхности TiN-покрытий до (а) и после облучения электронами дозой $0,08 \cdot 10^{19}$ е⁻/см² (б) и $0,52 \cdot 10^{19}$ е⁻/см² (в)

Для выяснения химического состава макродефектов был проведен микроанализ в режиме энергетического дисперсионного анализа (рис. 6). На рис. 6 показаны области, выбранные для проведения анализа, а в таблице приведен химический состав участков покрытий.

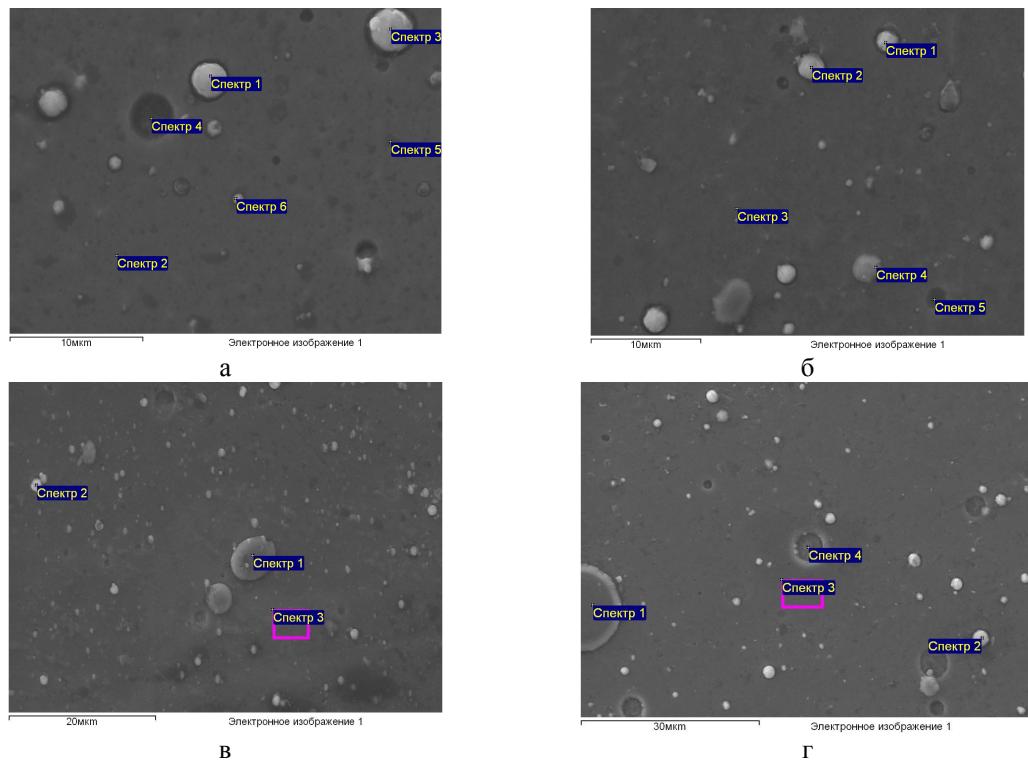


Рисунок 6 - РЭМ - изображения до (а) и после отжига (б), облучения электронами дозой $0,08 \cdot 10^{19} \text{ e}^-/\text{см}^2$ (в) и $0,52 \cdot 10^{19} \text{ e}^-/\text{см}^2$ (г) поверхности TiN-покрытий

Из анализа таблицы можно заключить, что под воздействием электронного пучка происходит пространственное перераспределение легирующих элементов сплава.

На рис. 7 представлены гистограммы микротвердости для синтезированных покрытий после электронно-лучевой обработки при нагрузках 100 и 150 г. Твердость всех синтезированных покрытий достаточно высока $HV=11\div13,5$ ГПа. После облучения дозой $0,52 \cdot 10^{19} \text{ e}^-/\text{см}^2$ микротвердость TiN-покрытий увеличивается на 20 % по сравнению с исходным значением, что согласуется с представлением об упрочняющем воздействии электронно-лучевой обработки на покрытия.

Химический состав поверхности сплава с TiN-покрытиями

Режим обработки	Спектр	N	Ti	Fe	Co	Ni	Nb	Итого, %
Исходная	Спектр 1	37,65	61,75		0,60			100,00

	Спектр 2	27,70	71,30		0,99			100,00
	Спектр 3	35,66	63,64		0,71			100,00
	Спектр 4		58,34	1,01	3,84	1,96		100,00
	Спектр 5	27,31	71,69		1,00			100,00
	Спектр 6	29,49	69,54		0,97			100,00
После отжига при 800 °C	Спектр 1	30,89	67,62		0,88	0,61		100,00
	Спектр 2	34,13	65,02		0,85			100,00
	Спектр 3	29,59	69,14		1,27			100,00
	Спектр 4	36,63	61,79		1,07	0,51		100,00
	Спектр 5	23,45	73,40		2,19	0,97		100,00
После облучения дозой $0,08 \cdot 10^{19} \text{ e}^-/\text{cm}^2$	Спектр 1	23,86	73,22		1,89	1,03		100,00
	Спектр 2	27,35	67,82		3,29	1,54		100,00
	Спектр 3	28,47	36,54	0,66	23,41	9,52	1,40	100,00
После облучения дозой $0,52 \cdot 10^{19} \text{ e}^-/\text{cm}^2$	Спектр 1	28,50	70,78		0,72			100,00
	Спектр 2	35,09	64,25		0,66			100,00
	Спектр 3	28,88	68,00		2,18	0,94		100,00
	Спектр 4		33,32	1,19	42,93	19,39	3,17	100,00

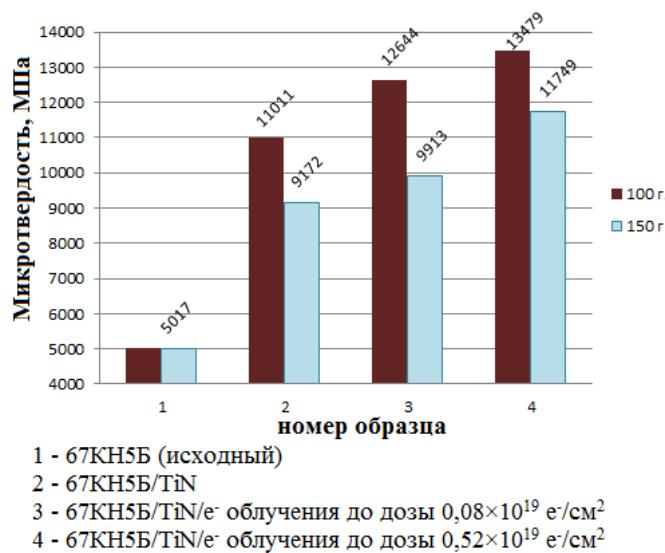


Рисунок 7 – Гистограмма микротвердости сплава 67KH5Б в зависимости от дозы электронно-лучевой обработки и от нагрузки на индентор

Экспериментально установлено, что нанесение покрытий TiN ионно-плазменным методом с последующей обработкой поверхности электронным пучком по режимам, указанным в данной статье, приводит к формированию многофазных плотных покрытий с интерметаллидными упрочняющими соединениями. Облучение покрытия электронным лучом приводит к перераспределению элементов, составляющих покрытие и подложку. После электронно-лучевой обработки покрытия обладают более высокой твердостью, порядка 13,5 ГПа.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования позволяет сделать вы-

вод о том, что электронное облучение сплава 67КН5Б с TiN-покрытиями:

- приводит к формированию модифицированного приповерхностного слоя при энергии электронов 1,3 МэВ и интегральной дозе облучения $0,08 \cdot 10^{19} \div 0,52 \cdot 10^{19}$ е⁻/см²;
- приводит к возрастанию микротвердости защитного покрытия из TiN на 20 % при энергии электронов 1,3 МэВ и интегральной дозе облучения $0,52 \cdot 10^{19}$ е⁻/см²;
- инициирует структурно-фазовые превращения в приповерхностном слое сплава 67КН5Б с образованием частиц Co₂Ti-фазы.

Работа выполнена в рамках интеграционного проекта «Разработка научных основ формирования порошковых покрытий, модифицируемых тугоплавкими соединениями и высокоэнергетическим воздействием»

Список литературы

1. Курзина И.А. и др. Нанокристаллические интерметаллидные и нитридные структуры, формирующиеся при ионно-лучевом воздействии. - Томск: Изд-во НТЛ, 2008. - 324 с.
2. Кадыржанов К.К. и др. Ионно-лучевая и ионно-плазменная модификация материалов. - М.: Изд-во МГУ, 2005. - 640 с.
3. Скаков М.К. Комплексный подход к повышению эксплуатационной надежности деталей и изделий / М.К. Скаков, Ю.Н. Сараев, А.А. Штерцер, А.М. Оришич, А.Ф. Ильюшенко // Технология машиностроения. - 2011. - № 8. - С. 39-42.

Получено 31.05.12

по страницам



ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ЛАМПА НАКАЛИВАНИЯ

Московский изобретатель Ю.В. Макаров придумал, как заставить ярче светить обычную лампу накаливания. Для этого он предложил разместить вокруг спирали покрытый высокотемпературным люминофором тонкостенный чехол из металлической сетки или негорючей жаростойкой такни.

Когда под действием тепла от раскаленной нити чехол нагревается примерно до 1500 °C, люминофор начинает преобразовывать тепловую энергию в свет. В качестве люминофора могут использоваться сульфид цинка, активированный катионами меди, или соли натрия и калия, активированные катионами других металлов. Лампа светит в 2-3 раза ярче обычной.

Наладить промышленное производство ламп не представляет трудности, а их стоимость почти не увеличится. Новая лампа по параметрам не уступает люминесцентным и светодиодным, но явно выигрывает в цене.

«Наука и жизнь» № 12, 2011