

Библиографический список

1. Лапшин, И.П. Расчет и конструирование зерноочистительных машин [Текст] : учебное пособие / И.П. Лапшин, Н.И. Косилов. – Курган: ГИПП «Зауралье», 2002. – 168 с.

2. Аипов, Р.С. Основы построения и теории линейных асинхронных приводов с упругими накопителями энергии [Текст] : учебное пособие / Р.С. Аипов. – Уфа: БашГАУ, 2006. – 295 с.

УДК 621.431

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ

Салахутдинов Ильмас Рифкатович, инженер кафедры эксплуатации мобильных машин и технологического оборудования;

e-mail: ilmas.73@mail.ru;

Хохлов Алексей Леонидович, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации мобильных машин и технологического оборудования;

e-mail: chochlov.73@mail.ru;

ФГБОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия им. П.А. Столыпина»

432063, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1, тел. 8(84231) 5-11-75

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, трибоузел, гильза цилиндров, металлизация, износ

Представлены результаты исследований по повышению износостойкости гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания металлизацией рабочей поверхности трения. Лабораторными исследованиями оптимизирован угол наклона металлизированной вставки. Предложен технологический процесс металлизации гильз цилиндров. Описана методика и приведены результаты сравнительных стендовых и эксплуатационных исследований автомобилей, оснащенных двигателями в штатной (типовые гильзы) и экспериментальной (металлизированные гильзы) комплектации.

Гильзы цилиндров двигателя внутреннего сгорания (ДВС) работают в условиях высокотемпературного износа и должны соответствовать целому ряду важных параметров. В первую очередь, гильза должна быть износостойкой и иметь низкий коэффициент трения. Во-вторых, сохранять в процессе работы стабильные размеры и при этом выдерживать высокое давление, механические и тепловые нагрузки, а также обладать хорошей теплопроводностью и коррозионной стойкостью в активных средах.

Одной из причин возникновения из-

носа является нарушение условий пластического оттеснения материала одной из трущихся поверхностей. Под воздействием нагрузки увеличивается глубина внедрения микронеровностей поверхности, что приводит к переходу от упругой к пластической деформации и далее - к микрорезанию или задиру (переход внешнего трения, при контакте двух тел, во внутреннее) [1]. Условие прекращения обтекания, соответствующее переходу внешнего трения во внутреннее, описывается выражением:

$$\frac{h}{R} \geq \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2\tau}{\sigma_{\delta}} \right), \quad (1)$$

где h – глубина внедрения, мкм; R – радиус сферического индентора (внедрившейся поверхности), мкм; τ – прочность на срез адгезионной связи, МПа; σ_{δ} – предел текучести материала, МПа.

Как следует из выражения, для осуществления внешнего трения необходимо, чтобы прочность на сдвиг поверхностного слоя была бы меньше прочности основного материала. Важным фактором, влияющим на данный процесс, является различие между прочностью адгезионной связи и нижележащих слоев. Если адгезионная связь менее прочна, чем нижележащий слой, то имеет место положительный градиент механических свойств по глубине.

Таким образом, для снижения износа и образования положительного градиента, необходимо уменьшить прочность тонкого поверхностного слоя.

Наиболее перспективным направлением повышения износостойкости трущихся поверхностей, является металлизация их цветными металлами.

Эффективность использования для металлизации различных металлов может быть оценена по величине коэффициента трения:

$$f = f_{адг} + f_{деф},$$

где, $f_{адг}$ – адгезионный коэффициент трения; $f_{деф}$ – деформационный коэффициент трения.

Поскольку деформационная составляющая невелика, ею можно пренебречь, тогда

$$f = f_{адг} = \left(\frac{R}{h} \right)^{0,43} \frac{3\tau}{P_c^{0,14} E^{0,86}} + \beta, \quad (3)$$

где P_c – контурное давление, МПа; E – модуль упругости, МПа; β – коэффициент, зависящий от геометрических параметров поверхности.

Следовательно, адгезионная составляющая определяется отношением тангенциальной прочности адгезионной связи к мо-

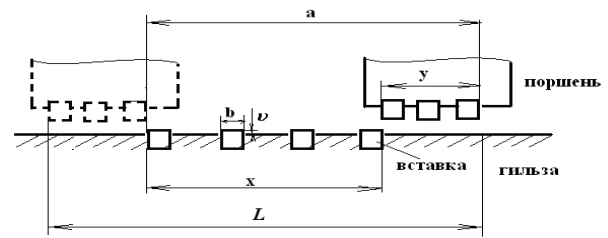


Рис. 1 - Схема контакта поршневых колец с вставками: a – длина хода поршня от НМТ до ВМТ; L – общая длина хода поршня; x – длина участка расположения вставок по длине хода поршня; y – длина участка расположения поршневых колец по длине поршня; b – ширина вставки; u – высота вставки над поверхностью гильзы.

дулю упругости и гладкостью поверхности. Исходя из этого, для биметаллизации трущихся поверхностей необходимо выбирать металл, имеющий минимальную тангенциальную прочность и наибольший модуль упругости. Из существующих цветных металлов, доступных для широкого использования, наиболее подходит медь, имеющая $E = 1,23 \cdot 10^5$ МПа [2].

Введение вставок цветного металла в трущиеся поверхности изменит соотношение площади контакта.

Для определения фактической площади контакта и количества вставок смоделируем поверхность гильзы набором вставок из цветного металла, которые расположены на поверхности гильзы на отрезке x по длине хода поршня L (рисунки 1).

Фактическая площадь S_{ϕ} касания, с учетом контурной площади S_k касания вставок с поршневыми кольцами будет зависеть от материалов вставок и поршневых колец, геометрических параметров вставки и давления в узле трения:

$$S_{\phi} = S_k \int_0^y dy \int_0^x \varphi'_2(y) \varphi'_1(x) dx,$$

где $\varphi(x)$ – производная функции числа вставок по длине участка (x) гильзы цилиндров; $\varphi(y)$ – производная функции числа поршневых колец по длине участка (y) поршня.

Проведя преобразования, получим фактическую площадь касания в зоне тре-

ния

$$S_{\phi} = 1,65 \frac{S_K \gamma_1^{0,33} \gamma_2^{0,33} (E_1 + E_2)^{0,67} [2b(1 - \mu_1^2)]^{0,67}}{(E_1 E_2)^{0,67}} P_H^{0,67}.$$

где S_K – контурная площадь касания, мм²; γ_1, γ_2 – коэффициенты, зависящие от материала поршневых колец и вставки металла соответственно; b – ширина вставки металла, мм; μ_1 – коэффициент Пуассона материала вставки; P_H – нормальное давление в зоне контакта, МПа.

Таким образом, удельный линейный износ I_h будет зависеть от механических свойств материала и геометрических параметров вставки:

$$I_h = \frac{0,247 \nu S_K \gamma_1^{0,33} \gamma_2^{0,33} (E_1 + E_2)^{0,67} [2b(1 - \mu_1^2)]^{0,67} P_H^{0,67}}{n S_H (E_1 E_2)^{0,67} L},$$

где ν – параметр опорной поверхности; E_1, E_2 – модуль упругости материала, МПа; n – число воздействий, приводящих к отделению материала; S_H – номинальная площадь контакта, мм²; L – путь трения, мм.

Теоретический линейный износ металлизированной и типовой гильз цилиндров, соответственно $4,9 \cdot 10^{-10}$ мм/мм и $1,5 \cdot 10^{-9}$ мм/мм, т.е. в 3,1 раза ниже.

Как видно из формулы (6), одним из параметров обеспечения снижения износа является отношение площади вставок цветного материала к площади гильзы цилиндров, однако важно знать и угол наклона вставки, от которого будет зависеть деформация материала вставки – упругая или пластичная.

В этом случае коэффициент трения

$$f = \frac{\tau_c}{HB} + tg \alpha, \quad (7)$$

где τ_c – среднее сопротивление срезу, МПа; α – угол, составляемый фактической площадью контакта с направлением силы трения, град.; HB – твердость материала вставки, МПа;

Действующая деформация растяжения материала ε при скольжении внедрившейся поверхности будет пропорциональна коэффициенту трения f и тангенсу угла наклона α вставки:

$$\varepsilon = c f t g \alpha \quad (8)$$

где c – коэффициент формы вставки.

Преобразовав формулу (8), получим

угол α :

$$\alpha = \arctg \frac{\varepsilon}{c \left(\left(\frac{R}{h} \right)^{0,43} \frac{3\tau_c}{P_C^{0,14} E^{0,86}} + \beta \right)} \quad (9)$$

Теоретически рассчитанный угол наклона вставки к диаметральной плоскости гильзы будет равен 17,2°.

Зная угол наклона вставки, проведем расчет геометрических параметров кольцевой канавки и объем меди, необходимый для обеспечения снижения износа. Ширина канавки $b = 1,5$ мм. Учитывая, что гильза цилиндров двигателя УМЗ имеет три ремонтных размера, чередующихся через 0,5 мм, глубину канавки принимаем 1,5 мм. Поддержание слоя меди на поверхности трения гильзы толщиной 2...3 мкм обеспечивается шестью замкнутыми кольцевыми канавками, что соответствует площади не менее 8,3% по отношению к площади поверхности трения гильзы цилиндров.

Повышение износостойкости гильз цилиндров достигается за счет металлизации поверхности трения. Для этого в теле детали могут быть выполнены вставки, слои, канавки, пазы и прочее из материала с иными физико-механическими свойствами, как правило, в плоскости, непараллельной плоскости трения и направлению движения деталей (рисунок 2).

Работа гильзы [3] с измененными физико-механическими характеристиками поверхности трения осуществляется следующим образом. Кольца, двигаясь по поверхности гильзы, пластическим деформированием снимают часть цветного металла

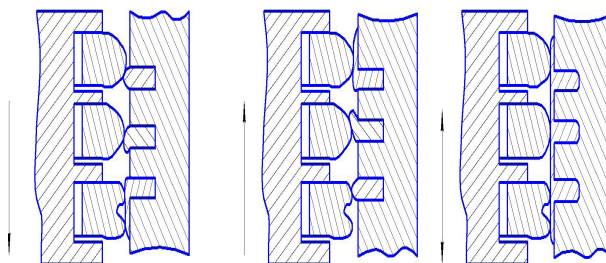


Рис. 2 – Схема образования плёнки на поверхности гильзы цилиндров: 1-поршень; 2-поршневое кольцо; 3-гильза цилиндра; 4-вставка

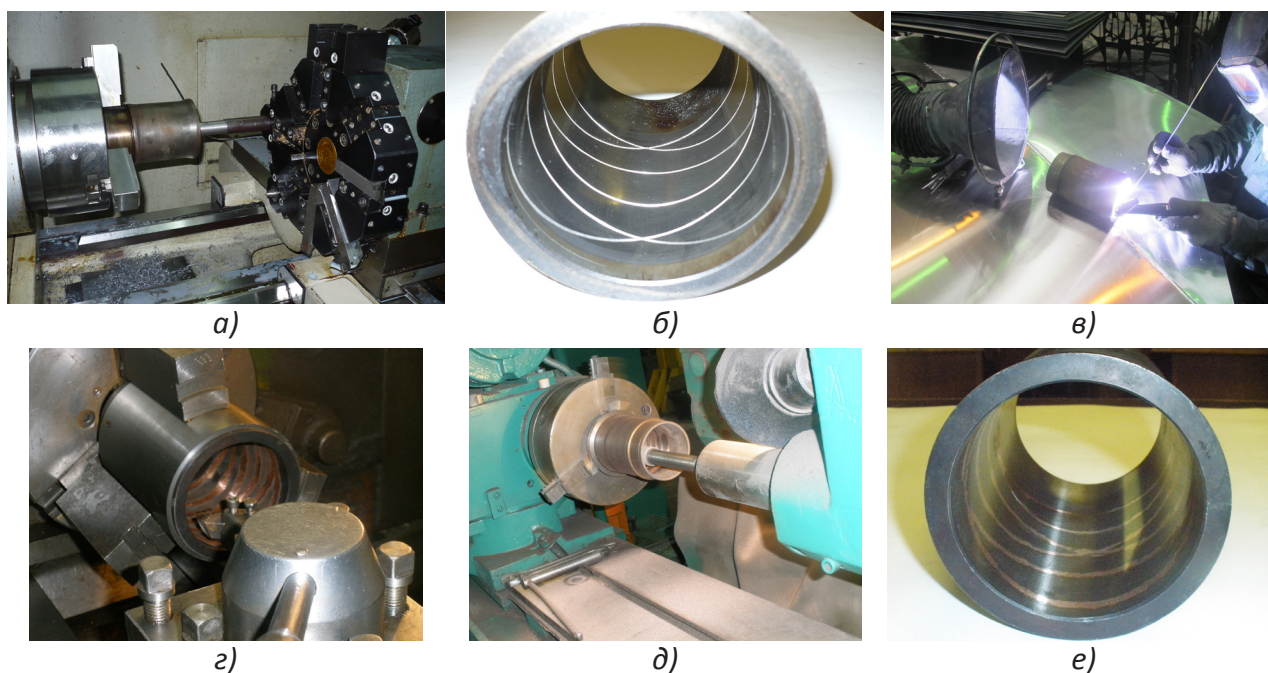


Рис. 3 - Технологический процесс изготовления металлизированной медью гильзы цилиндров: а) нарезка кольцевых канавок; б) гильза с нарезанными кольцевыми канавками; в) наплавка канавок медью; г) зачистка внутренней поверхности; д) шлифование внутренней поверхности; е) металлизированная гильза цилиндров

с канавок и «намазывают» его по всей поверхности гильзы между н.м.т. и в.м.т. Этот процесс происходит непрерывно в течение всех четырёх тактов двигателя. В результате на рабочей поверхности гильзы образуется защитная пленка, что способствует снижению коэффициента трения поршневых колец о стенку гильзы цилиндра.

Технологический процесс изготовления металлизированной медью гильзы цилиндров (рисунок 3) включает в себя следующие основные операции: нарезание кольцевых канавок и их наплавку; зачистку внутренней поверхности после наплавки; черновое и чистовое шлифование внутренней поверхности.

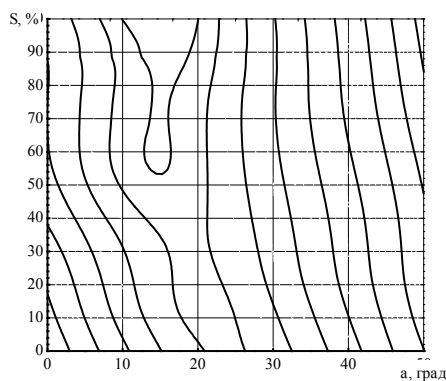
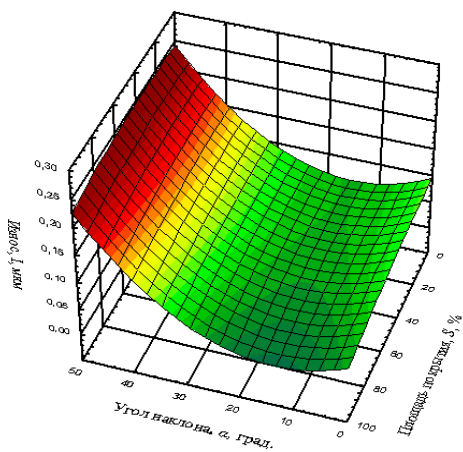
Для проверки теоретических расчетов экспериментальными исследованиями была разработана общая программа, которая включает лабораторные исследования опытных образцов с различными углами наклона медной вставки, ускоренные испытания металлизированных гильз цилиндров на износостойкость, сравнительные стендовые исследования бензинового двигателя УМЗ-417 и эксплуатационные исследования автомобилей УАЗ-3303, укомплектованных двигателями в штатной (типичные гильзы ци-

линдров) и экспериментальной (металлизированные медью гильзы цилиндров) комплектации.

Результаты лабораторных исследований показали, что наилучшие показатели по снижению момента трения в конце исследований наблюдаются у образцов, имеющих угол наклона вставки 15° , 20° и 25° и составляют соответственно 3,0; 2,98; 3,05 Н·м. У этих образцов раньше других заканчивается период приработки, стабилизация происходит через 20 минут после начала исследований [4].

Данные рентгеновского спектрального анализа (рисунок 7) поверхностей трения образцов показывают образование на них слоя цветного металла, возникающего в процессе трения, причем наибольшая площадь покрытия трущейся поверхности происходит при угле наклона вставки меди $15...25^\circ$ и составляет 84...86% покрываемой площади.

Исследования шероховатости поверхности трения образцов показывают, что у образцов, прослоенных медью, среднее отклонение профиля от средней линии уменьшилось на 0,4 мкм, то есть на 12,5 % до и после исследований [4].



а)

б)

Рис. 4 - Поверхность отклика: (а) характеризующая степень износа образцов от угла наклона вставки и площади покрытия трущейся поверхности; (б) двухмерное сечение поверхности отклика от взаимодействия угла наклона вставки и площади покрытия

При определении износа испытуемых образцов использовали весовой метод. Наименьший износ имеют образцы, имеющие угол 15°, 20° и 25°.

На основании результатов исследований получено уравнение регрессии, описывающее зависимость износа поверхности трения образцов от угла наклона вставки и площади покрытия трущейся поверхности (рисунок 4):

$$I = 25,068 - 0,0136\alpha - 0,0016S + 0,0003\alpha^2 - 5\alpha S - 6S^2, \quad (10)$$

где I – износ образцов, мг; α – угол наклона вставки, град.; S – площадь покрытия, %.

На основании полученных результатов

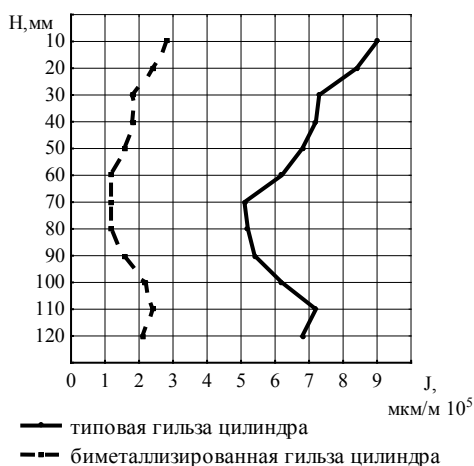


Рис. 5 - Интенсивность изнашивания J гильз цилиндров по высоте H

[4] наименьший износ образцов соответствовал углу наклона вставки 15...20°.

Результаты сравнительных ускоренных исследований гильз цилиндров на износостойкость представлены на рисунке 5.

Таким образом, исследования показали [5], что металлизация гильзы цилиндра позволяет снизить интенсивность изнашивания гильзы по высоте в среднем в 3 раза.

После проведения стендовых исследований двигателя определяли износ гильз цилиндров линейным и весовым методами.

Установлено, что наибольший линейный износ типовых и металлизированных гильз цилиндров по высоте наблюдается в верхней и нижней мертвых точках.

По результатам взвешивания средний износ металлизированных гильз цилиндров в 3,4 раза меньше типовых гильз, что обусловлено образованием на поверхности трения антифрикционного слоя и снижением коэффициента трения.

Проведенные сравнительные эксплуатационные исследования автомобилей УАЗ-3303, укомплектованных двигателями в штатной (типовые гильзы цилиндров) и экспериментальной (биметаллизированные гильзы цилиндров) комплектациях, в условиях рядовой эксплуатации показали снижение линейного износа (рисунок 6) рабочей поверхности трения гильз цилиндров в 2,7 раза по сравнению с двигателем в штатной комплектации.

Проведенные теоретические расчеты показали, что при металлизации гильз цилиндров износ рабочей поверхности трения снижается в 3 раза, что подтверждено экспериментальными исследованиями: при ускоренных лабораторных испытаниях в 3 раза, стендовых – 3,4 раза, эксплуатационных – 2,7 раза по сравнению с типовой гиль-

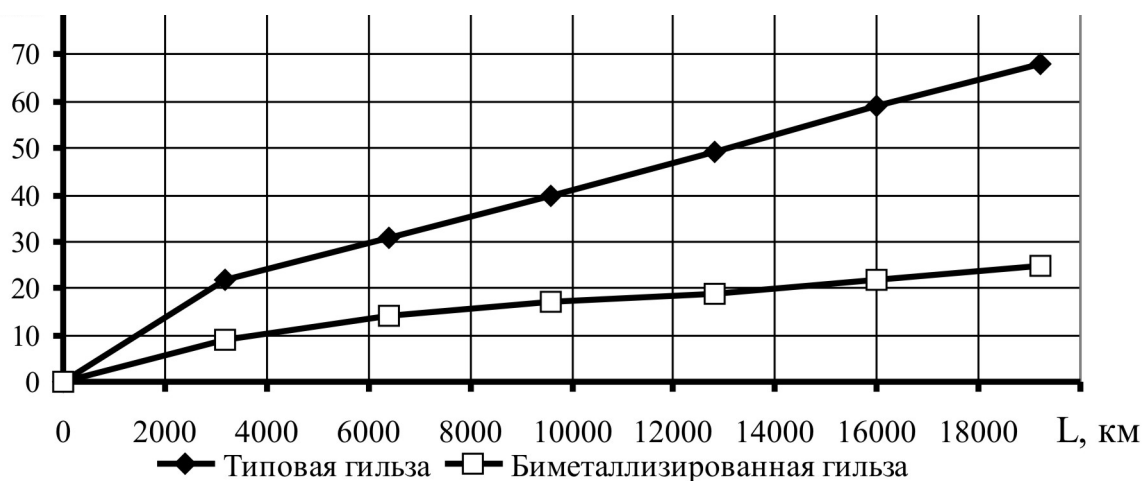


Рис. 6 - Средний износ I гильз цилиндров от пробега автомобилей L

зой.

Библиографический список

1. Салахутдинов, И.Р. Теоретическое обоснование процесса снижения износа цилиндра-поршневой группы биметаллизацией методом вставок / И.Р. Салахутдинов, А.Л. Хохлов, А.А. Глущенко // Вестник Саратовского ГАУ имени Н.И. Вавилова – Саратов СГАУ им. Вавилова Н.И. – 2011.-№2.–С. 42-45.

2. Салахутдинов, И.Р. Теоретическое обоснование применения различных металлов для снижения износа деталей ЦПГ / И.Р. Салахутдинов, А.Л. Хохлов, А.А. Глущенко, К.У. Сафаров // Вестник УГСХА – Ульяновск УГСХА. – 2010. - №3. – С. 127-131.

3. Салахутдинов, И.Р. Гильза цилиндров двигателя УМЗ – 417 с изменёнными физико-механическими свойствами / И.Р.

Салахутдинов, А.Л. Хохлов, А.А. Глущенко. // Вклад молодых учёных в инновационное развитие АПК России: Материалы всероссийской НПК молодых учёных – Пенза: ПГСХА, 2010. – С. 107-116.

4. Салахутдинов, И.Р. Результаты экспериментальных исследований износостойкости деталей с изменёнными физико-механическими характеристиками поверхности трения / И.Р. Салахутдинов, А.Л. Хохлов, А.А. Глущенко, К.У. Сафаров // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: Материалы международной НПК – Ульяновск: УГСХА, 2010. – С. 107-116.

5. Салахутдинов, И.Р. Повышение износостойкости гильз цилиндров ДВС / И.Р. Салахутдинов, А.Л. Хохлов, А.А. Глущенко, К.У. Сафаров, Е.Н. Прошкин // Вестник УГСХА – Ульяновск УГСХА. - 2011. -№1. – С. 102-105.

УДК 631.3.004.67 + УДК 621.992

ПОВЫШЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ МЕТРИЧЕСКОЙ РЕЗЬБЫ УПРОЧНЯЮЩИМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ

Салов Василий Борисович, старший преподаватель кафедры «Материаловедение и технология машиностроения», ФГБОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия им. П.А. Столыпина»

Федорова Лилия Владимировна, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина»,

Федоров Сергей Константинович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО