

## ТЕПЛОВАЯ НАПРЯЖЕННОСТЬ КАТАЛИТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФОРМОВОЧНОЙ ГЛИНЫ В НЕЙТРАЛИЗАТОРАХ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ

Н.Н. Горлова, А.А. Мельберт, Г.В. Медведев, Д.С. Печенникова

*В работе определены основные характеристики и свойства материалов на основе формовочной глины. Для данного типа пористых проницаемых СВС-каталитических материалов получены и описаны важные теплофизические характеристики, позволяющие производить необходимые аналитические расчеты при проектировании состава материалов. В результате обработки экспериментальных данных было получено выражение, связывающее теплоемкость материала с его температурой и содержанием в шихте формовочной глины. В результате исследования, установлена связь между тепловой напряженностью и пористостью полученного материала.*

*Ключевые слова: очистка вредных выбросов, композитные материалы, катализатор, коррозионная стойкость.*

Получение высокотемпературным синтезом СВС-каталитических материалов [1] на основе формовочной глины в литературе описана только О.А. Лебедевой и С.Н. Павловым. При этом авторы не определились до конца с составами шихты для получения пористых проницаемых СВС-каталитических материалов, не описаны физические характеристики, физико-механические, теплофизические и коррозионные свойства материалов, полученных высокотемпературным синтезом.

В АлтГТУ были определены основные характеристики и свойства материалов на основе формовочной глины. Данные о теплофизических свойствах отсутствовали, а это сдерживало продолжение работ по получению подобных материалов и использование их в промышленных изделиях, установлению пределов их тепловой напряженности решению задач повышения прочности и долговечности каталитических фильтров для нейтрализаторов отработавших газов.

Учитывая данные о составе шихты, представленные в таблице 1, были экспериментально определены пределы текучести материалов, условно названных по названиям составов шихты Г-0, Г-1, Г-2, Г-3, Г-4, содержание формовочной глины по массе достигало соответственно: 54,1; 55,2; 56,3; 57,4; 58,5 %.

Определено, что при изменении температуры пределы текучести для каждого из составов изменяются и, следует отметить, что с увеличением содержания формовочной глины в шихте предел текучести увеличивается во всем диапазоне изменения температур, в интервале 500-850 К.

В результате обработки экспериментальных данных получена математическая зависимость предела текучести от температуры и содержания формовочной глины в шихте:

$$\sigma_{0,2} = -810,9 - 0,094T + 0,356 \cdot 10^{-3} T^2 + 16,1C_{ФГ}, \text{ МПа}, \quad (1)$$

где Т - температура, К;

$C_{ФГ}$  - содержание формовочной глины в шихте в % по массе.

Использование выявленной закономерности позволяет определить предел текучести материала на основе формовочной глины на стадии проектирования состава, расширяет возможности для изучения прочности и долговечности изделий подобных материалов.

В результате проведенных опытов были получены составы шихты на основе формовочной глины К III/2Т<sub>2</sub>, (таблица 1). Содержание формовочной глины в шихте с одной стороны ограничивалось коррозионной стойкостью в смеси кислот, газотермической среде и с содержанием воды в порах при отрицательных температурах, с другой показателем тепловой напряженности.

При создании пористых проницаемых СВС-каталитических материалов на основе формовочной глины впервые научной школой В.В. Евстигнеева были получены первые образцы с неизвестными теплофизическими свойствами. Отсутствовали знания о теплопроводности такого рода материалов, закономерностях её изменения, влияния на ее величину состава шихты. Дальнейшее развитие работы в этом направлении потребовало

восполнения знаний о теплофизических свойствах материалов на основе формовочной глины. В АлтГТУ им. И.И. Ползунова были приведены работы по определению теплопроводности пористых проницаемых СВС-каталитических материалов на основе руды ильменита.

В результате исследований было отмечено, что материалы с большим содержанием в составе шихты формовочной глины обладают более низкой теплопроводностью во всем диапазоне температур от 500 до 810 К. Закономерность влияния концентрации формовочной глины на теплопроводность материалов имеет явно нелинейный характер. С ростом температуры проявление влияния концентрации формовочной глины в шихте на теплопроводность материала усиливается.

Следует также отметить, что влияние концентрации на теплопроводность имеет и неравномерность. Так увеличение концентрации формовочной глины в шихте в порядке: 54,1 % - 55,2 % - 56,3 % - 57,4 % - 58,5 % по массе производит снижение теплопроводности с уменьшающимся шагом, что имеет наиболее четкое проявление в диапазоне высоких температур.

Обнаруженные закономерности описаны по результатам математической обработки экспериментальных данных.

$$\lambda = \left( \begin{array}{l} 9580 + 1,0T - 0,000719T^2 - \\ - 326C_{\Phi Г} + 3,0C_{\Phi Г}^2 \end{array} \right), \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}, \quad (2)$$

где  $T$  - температура, К;  $C_{\Phi Г}$  - концентрация формовочной глины в шихте в процентах по массе.

Полученные данные и выявленные закономерности являются новыми, не описанными ранее. Появилась возможность вести обоснование составов шихты, исходя из прогнозирования тепловой напряженности материалов на основе формовочной глины и выполнение оценки их теплопроводности в зависимости от температур по месту эксплуатации в устройствах для очистки отработавших газов.

Тепловое сопротивление  $\delta/\lambda$  для материалов на основе формовочной глины марки К III/2T<sub>2</sub> зависит не только от толщины стали, но и от температуры. Увеличение толщины стенки прямо пропорционально увеличению теплового сопротивления во всем диапазоне температур. Характер изменения теплового сопротивления в зависимости от изменения толщины стенки фильтрующего элемента и температуры выявил определенную закономерность, связывающую тепловое сопротив-

ление с толщиной стенки и температурой. Характер изменения  $\delta/\lambda$  в зависимости от температуры примерно идентичный, нелинейный. При изменении толщины стенки с одинаковым шагом, приблизительно с таким же шагом изменяется тепловое сопротивление для каждой из  $\delta$  в зависимости от температуры.

Проявление влияния состава материалов на их тепловое сопротивление проявляется через закономерности изменения теплопроводности, которая как раз и определяется во многом сочетанием отдельных компонентов шихты.

Обнаружено, что для материала Г-2 для толщины стенки 5 мм при температуре 800 К тепловое сопротивление составляет  $11,5 \text{ м}\cdot\text{кг}\cdot\text{К}/\text{Дж}\cdot 10^{-3}$ . В то же время при той же температуре и той же толщине стенки тепловое сопротивление для других материалов составило: Г-0 - 10,01; Г-1 - 10,99; Г-3 - 12,05; Г-4 -  $12,35 \text{ м}\cdot\text{кг}\cdot\text{К}/\text{Дж}\cdot 10^{-3}$ .

В результате обработки экспериментальных данных была получена математическая зависимость, связывающая тепловое сопротивление материала на основе формовочной глины, полученного высокотемпературным синтезом, с толщиной пористой проницаемой стенки и ее температурой. Выражение имеет вид ( $\text{м}^2\text{К}/\text{Вт}$ ):

$$\delta/\lambda = 21,53 - 0,051T + 27,8 \cdot 10^{-6}T^2 + 2,47\delta, \quad (3)$$

где  $\lambda$  - теплопроводность;  $\delta$  - толщина стенки, м;  $T$  - температура стенки, К.

Таким образом, для данного типа пористых проницаемых СВС-каталитических материалов получены и описаны важные теплофизические характеристики, позволяющие производить необходимые аналитические расчеты при проектировании состава материалов.

Решение практических задач по определению температуропроводности разрабатываемых на основе формовочной глины пористых проницаемых СВС-каталитических материалов потребовало знаний об их теплоемкостях при температурах в диапазоне 500...800 К. Появилась необходимость определения теплоемкости материалов в пределах возможности осуществления высокотемпературного синтеза по составу шихты, то есть при концентрациях формовочной глины К III/2T<sub>2</sub> от 54,10 до 58,5 % по массе с условием получения изделий без «свищей», пустот и с необходимыми физическими характеристиками: средним приведенным диаметром пор, извилистостью пор, удельной поверхностью, пористостью и проницаемостью.

Таблица 1 – Данные о составах шихты, характеристиках и свойствах СВС-каталитических материалов с содержанием формовочной глины К III/2T<sub>2</sub>

Отдельные характеристики	Варианты комплектации состава шихты				
	Г-0	Г-1	Г-2	Г-3	Г-4
<i>Содержание компонентов шихты, в процентах по массе</i>					
Оксиды формовочной глины К III/2T <sub>2</sub> с учетом ее состава:	54,10	55,20	56,30	57,40	58,50
Оксиды кремния	28,19	28,50	29,07	29,69	30,10
Алюминий	7,92	8,50	8,67	8,75	9,17
Оксид железа	5,14	5,20	5,30	5,42	5,49
Оксид алюминия	12,36	12,50	12,75	13,02	13,20
Прочие соединения (TiO <sub>2</sub> , CaO, K <sub>2</sub> O)	0,49	0,50	0,51	0,52	0,54
Окалина стали	12,80	12,30	12,30	12,40	12,10
Алюминий по ТУ 485-22-87 марки АСД-1	12,30	11,70	10,60	9,40	8,60
Медь	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Церий	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Никель	12,40	12,40	12,40	12,40	12,40
Хром	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90
<i>Физические характеристики</i>					
Средний приведенный диаметр пор, мкм	159	152	143	129	110
Извилистость пор при δ <sub>см</sub> =10 мм	1,11	1,13	1,17	1,24	1,32
Удельная поверхность материала, м <sup>2</sup> /г	121	109	97	88	80
Пористость	0,44	0,42	0,37	0,32	0,26
Проницаемость по воздуху × 10 <sup>-12</sup> , м <sup>2</sup>	2,20	2,09	1,82	1,59	1,21
<i>Физико - механические свойства</i>					
Механическая прочность при сжатии, МПа	8,9	8,0	7,2	6,5	5,7
Механическая прочность при изгибе, МПа	2,8	2,6	2,5	2,4	2,2
Ударная вязкость, Дж/м <sup>2</sup>	0,245	0,235	0,226	0,180	0,107
Модуль упругости, Е × 10 <sup>3</sup> , МПа (298 К)	65,8	65,1	64,5	64,0	63,4
Предел текучести, МПа (T=798 К)	352	372	395	420	450
<i>Теплофизические свойства (T=798 К)</i>					
Теплопроводность, Вт/(м·К)	490	455	432	417	405
Температуропроводность, × 10 <sup>-3</sup> , м <sup>2</sup> /с	0,336	0,332	0,330	0,328	0,327
Коэффициент теплообмена, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	2,34	2,35	2,36	2,38	2,41
Предельная теплонапряженность, × 10 <sup>3</sup> , Вт·МПа/м <sup>2</sup>	5,150	5,450	5,750	6,000	6,200
<i>Свойства коррозионной стойкости</i>					
Потеря массы в смеси кислоты, %	12,5	13,5	14,1	15,5	17,5
Газотермическая коррозия, %	19,7	16,8	14,0	12,1	10,9
Низкотемпературная коррозия, %	10,6	10,6	10,2	10,3	10,3
<i>Функциональные свойства материала</i>					
Снижение концентраций СО, %	68	69	71	71	72
Снижение концентраций NO <sub>x</sub> , %	42	37	37	29	25
Снижение концентраций C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> , %	40	45	46	48	49
Снижение концентраций ТЧ, %	88	89	90	91	91

Обнаружилось, что в диапазоне исследуемых температур теплоемкость СВС-каталитических материалов на основе формовочной глины изменяется только в 1,098 раза, что можно признать незначительным, но необходимо учитывать при расчетах температуропроводности материалов. Изменение содержания формовочной глины в шихте при одинаковых температурах приводит к изменению теплоемкости только на 0,005 кДж/(кг·К), что так же нельзя считать существенным.

В результате обработки экспериментальных данных было получено выражение, связывающее теплоемкость материала с его температурой и содержанием в шихте формовочной глины:

$$C_p = 0,453 + 0,0001T, \text{ кДж/(кг·К)}, \quad (4)$$

где  $T$  - температура материала, К.

Таким образом, появилась возможность проведения расчетов температуропроводности новых СВС-каталитических материалов на основе формовочной глины.

Несмотря на обилие материаловедче-

ских работ по свойствам глины, относящихся в основном к металлургии и производству строительных материалов, практически обобщенных материалов, касающихся отдельных марок практически не встречается. В особенности это касается вопросов, связанных с теплофизическими показателями. Сложность определения температуропроводности формовочной глины заключается в ее нестабильным составом даже в пределах одного месторождения. Тем более задача усложняется при изменении температуры материала.

Экспериментальное исследование показало, что зависимость температуропроводности пористых проницаемых материалов полученных высокотемпературным синтезом при увеличении температуры имеет нелинейный характер, при значениях, близких к  $0,33 \text{ м}^2/\text{с} \cdot 10^{-3}$  стабилизируется. Последнее обстоятельство объясняется закономерностями изменения плотности и пористости материала, что приводит к характеру изменения температуропроводности при повышении температуры.

Из полученных данных следует, что при изменении температуры материала с 520 до 820 К его температуропроводность возрастает в 1,13 раза. При этом, на участке 520...680 К в 1,12 раза, а на участке 680...820 К в 1,012 раза.

Сравнивая с результатами по материалам на основе окислы стали, следует признать результаты по материалам на основе формовочной глины характерными для них. В результате обработки экспериментальных данных было выполнено математическое описание зависимости температуропроводности пористого проницаемого каталитического материала, полученного высокотемпературным синтезом на основе формовочной глины марки К III/2Т<sub>2</sub> от температуры. Зависимость имеет вид:

$$a = (-19 + 0,9T - 0,0006T^2) \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с} \quad (5)$$

где  $T$  - температура, К.

Проведение исследований материалов, полученных на основе формовочной глины для других составов было ограничено ввиду получения идентичных или близких по значениям результатов. Вместе с тем, полученные материалы, их описания и определения свойств и закономерностей изменения теплопроводности являются новыми, не описанными ранее, раскрывающими возможности экспериментального и аналитического определения важнейшего теплофизического показателя-теплопроводности материалов на ос-

нове формовочной глины.

Аналитически и экспериментально невозможно определить показатели тепловой напряженности материала без сведений о его коэффициенте теплообмена. Для пористых проницаемых каталитических материалов, полученных на основе формовочной глины высокотемпературным синтезом обнаружено полное отсутствие сведений о коэффициентах теплообмена, тем более, в зависимости от температуры.

В связи с появлением необходимости знаний численных значений коэффициенты теплообмена для вновь полученных материалов в диапазоне рабочих температур каталитических нейтрализаторов при 500-800 К, раскрытие возможностей для проведения расчетных исследований тепловой напряженности материалов.

Выявленный характер изменения коэффициента теплообмена в зависимости от температуры является нелинейным. В диапазоне изменения температуры от 520 до 780 К коэффициент теплообмена пористого проницаемого каталитического материала на основе формовочной глины повышается с 1,72 до 2,36 Вт/(м<sup>2</sup>·К) или в 1,37 раза. Характер изменения повторяется и для материалов других составов на основе формовочной глины. Получена зависимость:

$$\alpha = -1,810 + 9,900 \cdot 10^{-3} T - 6 \cdot 10^{-6} T^2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \quad (6)$$

где  $T$  - температура материала, К.

Необходимо отметить, что все экспериментальные исследования проведены при одинаковом тепловом потоке  $\Phi$ , одинаковой плотности теплового потока, одинаковой тепловоспринимающей поверхности  $F$ .

Следующим этапом исследования может быть определение влияния удельной поверхности материала на величину коэффициента теплообмена. Однако, нами это выделено в одно из перспективных направлений дальнейших научных исследований и не рассмотрено в данной работе.

Тепловая напряженность пористых проницаемых каталитических материалов зависит от температуры. Для других материалов обычно устанавливают в качестве заградительного материала предельные температуры. Речь идет о тех температурах, при которых изменяются прочностные качества и наблюдаются разрушения структуры. Выявленные в ходе исследования случаи разрушения пористых проницаемых материалов случаи отнесли к температурам выше 720...730 К (для состава шихты Г-2). При дальнейшем повышении температуры характер разруше-

## ТЕПЛОВАЯ НАПРЯЖЕННОСТЬ КАТАЛИТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФОРМОВОЧНОЙ ГЛИНЫ В НЕЙТРАЛИЗАТОРАХ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ

ния имел появление выраженных трещин и разломы в различных, четко не сориентированных направлениях. Существование предельных температур ограничивает области применения каталитической очистки газов в полученных материалах [2], так как отдельные реакции восстановления (например, оксидов азота) предполагают наличие более высоких температур. Зависимость теплонапряженности от температуры ( $\text{Вт}\cdot\text{МПа}/\text{м}^2$ ):

$$\sigma_t = (3,030 - 0,005T + 10^{-5} T^2) \cdot 10^{-3}, \quad (7)$$

где  $T$  - температура, К.

Оценивая результаты проведенных исследований, можно отметить следующие обстоятельства:

- ограничения по тепловой напряженности, относимые к 720...730 К, являются не приемлемыми с той точки зрения, что ограничения по температуре отработавших газов дизелей находится, в диапазоне температур 873...923 К, то есть значительно выше отмеченных, а при предлагаемых не будет в полной мере осуществляться очистка отработавших газов;

- область граничных значений теплонапряженности не позволят в полной мере использовать тепло для дожигания продукта неполного сгорания в присутствии катализаторов.

На тепловую напряженность материалов на основе формовочной глины большое влияние оказывает средний приведенный диаметр пор. С одной стороны в металлокерамических материалах увеличение диаметра пор  $d_n$  связано с увеличением теплового напора горячих газов, проходящих через поры, влияющих на теплопередачу, а с другой - с увеличением площади концентраторов возмущающих тепловых напряжений. Если допустимая тепловая напряженность для материала из состава шихты Г-2 составляет  $5,570 \times 10^3$ ,  $\text{Вт}\cdot\text{МПа}/\text{м}^2$ , то средний приведенный диаметр пор следует иметь 122 мкм, а для получения последнего следует, при принятой технологии высокотемпературного синтеза, перейти к составу шихты Г-3.

В результате обработки экспериментальных данных было получено выражение, связывающее тепловую напряженность материала на основе формовочной глины со средним приведенным диаметром пор, то есть ( $\text{Вт}\cdot\text{МПа}/\text{м}^2$ ):

$$\sigma_t = (-21500 + 345 d_n - d_n^2) \cdot 10^{-6}, \quad (8)$$

где  $d_n$  - средний приведенный диаметр пор, мкм.

Если обратиться к функциональным ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4/3 2013

свойствам новых каталитических материалов, то средний приведенный диаметр пор 122 мкм обеспечит необходимые условия диффузии, способствующей каталитическим процессам [3], [4], однако тепловое состояние газовой среды не будет отвечать требованиям снижения энергии активации в окислительных и восстановительных процессах, протекающих в присутствии катализаторов.

Учитывая то, что последнее обстоятельство является одним из определяющих при выборе материала для каталитических фильтров, разработанные материалы на основе формовочной глины будут иметь ограниченное применение, например, в сажевых фильтрах.

Извилистость пор проницаемых каталитических материалов на основе формовочной глины также имеет связи с их тепловой напряженностью. Это, по-видимому, связано с тем, что при увеличении извилистости пор увеличиваются и теплообменные процессы в структуре.

С увеличением извилистости пор в проницаемом материале связаны вопросы прочности и долговечности при увеличении тепловой напряженности. Извилистые поры являются дополнительными источниками концентрации напряжений в виде острых углов, игольчатых выступов и трещинообразных соединений между соседними стенками.

В результате обработки экспериментальных данных была получена математическая зависимость, связывающая тепловую напряженность материала из шихты Г-2 с извилистостью пор в нем ( $\text{Вт}\cdot\text{МПа}/\text{м}^2$ )

$$\sigma_t = (-197 + 318 \xi_{II} - 124 \xi_{II}^2) \cdot 10^{-3}, \quad (9)$$

где  $\xi_{II}$  - извилистость пор в материале.

Извилистость пор в проницаемых материалах можно характеризовать как разнородности внутренней шероховатости. На самом деле процессы формирования извилистости пор «внутренней» шероховатости сложно управляем как составом шихты, технологией подготовки ее и технологией высокотемпературного синтеза. Поэтому он мало изучен, но полученные сведения раскрывают существующие связи и служат основой для развития дальнейших исследований.

Проницаемость пористых материалов во многом характеризует конвективный теплообмен с протекающими газами. Действительно, тепловая напряженность прямо пропорциональна проницаемости материала. Опыты выполнены на составе шихты Г-2 при температуре 793 К.

Зависимость теплонапряженности мате-

риала в зависимости от его проницаемости имеет линейный характер. Установлена предельная тепловая напряженность для материала Г-2  $\sigma_t = 5,7 \cdot 10^3$ , Вт·МПа/м<sup>2</sup>.

Увеличение концентрации формовочной глины с 54,1 до 58,5 % по массе проницаемость их воздуха уменьшалась с 2,20 до  $1,21 \cdot 10^{-12}$ , м<sup>2</sup> или в 1,818 раза. Увеличение тепловой напряженности с ростом проницаемости материала отражает физическую картину теплообмена. Установлена математическая зависимость между тепловой напряженностью и проницаемостью материала на основе формовочной глины (Вт·МПа/м<sup>2</sup>)

$$\sigma_t = (-1,435 + 4,668 K_{пр}) \cdot 10^3, \quad (10)$$

где  $K_{пр}$  - проницаемость материала по воздуху,  $10^{-12}$  м<sup>2</sup>.

Исходя из условий существования теплообмена в пористой структуре материалов, располагая данными по изменению пористости в зависимости от концентрации формовочной глины в шихте. Следовало ожидать снижения тепловой напряженности материала при увеличении пористости каталитического материала.

Установлено, что для этого вида материалов заградительным параметром по тепловой напряженности является величина  $\sigma_t = 5,75 \times 10^3$ , Вт·МПа/м<sup>2</sup>, по пористости  $\Pi = 0,35$ .

В литературе отсутствуют сведения о влиянии пористости на теплообмен в проницаемых материалах на основе формовочной глины, а о влиянии на тепловую напряженность нет даже упоминаний. В целях восполнения таких знаний был проведен комплекс экспериментальных исследований на селективно отобранных стандартных образцах фильтров.

В результате обработки экспериментальных данных была получена математическая зависимость величины тепловой напряженности от пористости материала, полученного высокотемпературным синтезом на основе формовочной глины  $K_{III}/2T_2$ : (11)

$$\sigma_t = 7054 - 12220 \Pi - 45570 \Pi^2, \text{ Вт·МПа/м}^2,$$

где  $\Pi$  - пористость материала.

Таким образом, в результате исследования, установлена связь между тепловой напряженностью и пористостью полученного материала. Такие данные не были описаны в литературе и являются новыми. В результате появления данных о теплонапряженности новых материалов появилась и возможность его инструментального использования для сравнения их между собой при осуществле-

нии выбора.

Тепломеханическая характеристика материалов, полученных на основе формовочной глины, оставались до недавнего времени неизвестными, что не позволяло определять их тепловую напряженность при изменении температуры. Незнание теплофизических характеристик пористых материалов, прежде всего, упиралось в незнание значений модуля упругости Юнга. Увеличение концентрации формовочной глины вместе с ростом температуры влияет на изменение предела текучести материалов на основе формовочной глины. это прежде всего объясняется наличием в составе значительного количества алюминия, его оксидов.

Обработкой результатов экспериментального исследования получено математическое выражение зависимости модуля упругости материала от его температуры:

$$E = 93800 - 39T, \text{ МПа} \quad (12)$$

где  $T$  - температура материала, К.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов А.В. Разработка новых керамических материалов для высокотемпературных фильтров / А.В.Аксенов, О.А.Некрашевич, А.В.Бугаев // Огнеупоры и техническая керамика. - 2001. - №9. - С. 26-28.
2. Мельберт, А.А. Перспективы применения СВС-каталитических фильтров для очистки отработавших газов автомобилей / А.А. Мельберт, А.Л. Новоселов // Вестник АлтГТУ им. И.И. Ползунова. - №2. - 1999. - С.157-158.
3. Новоселов, А.Л. Влияние характеристик пористых фильтров на качество очистки газов / А.Л. Новоселов, А.А. Мельберт, А.А. Жуйкова // Двигателестроение. - 2007. - №3 (229). - С. 39-42.
4. Новоселов, А.Л. Экспериментальный комплекс для контроля эффективности процессов очистки отработавших газов дизельных двигателей в каталитических нейтрализаторах / А.Л. Новоселов, В.В. Бразовский, Г.В. Медведев, Д.С. Печенникова // Ползуновский вестник. -2010. - №1. - С. 76-79.

**Горлова Н.Н.**, к.т.н., доц. кафедры "Экономики и организации производства", докторант

**Мельберт А.А.**, д.т.н., проф., Зав. каф. "Безопасности жизнедеятельности"

**Медведев Г.В.**, к.т.н., доц. кафедры "Автомобили и тракторы", докторант

**Печенникова Д.С.**, аспирант кафедры "Автомобили и тракторы"

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова»,  
e-mail: [at-05@list.ru](mailto:at-05@list.ru), тел. (83852) 290815