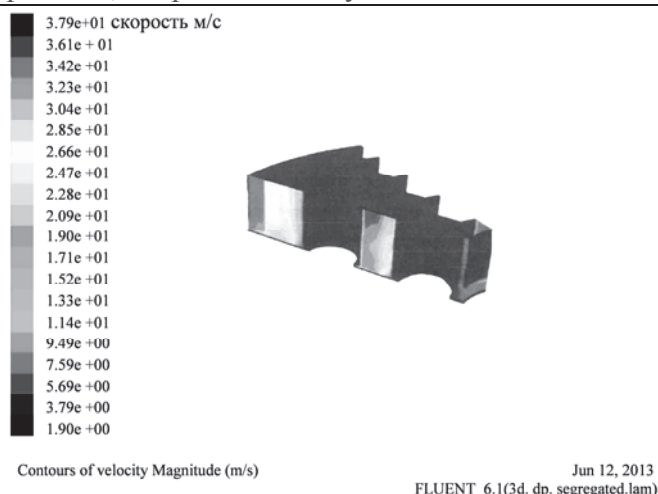


**Рисунок 5. Распределение температур в охлаждаемом каркасе теплообменника**



**Рисунок 6. Распределение скорости охлаждающего воздуха в каналах охлаждения каркаса**

### Выводы

1. Предложена оригинальная система охлаждения каркаса теплообменника.
2. Выполненный анализ теплового состояния каркаса теплообменника показал, что предложенная система охлаждения позволяет снизить среднюю температуру горячей стороны каркаса до 510°C (т.е. примерно на 100°C)
3. Мощность, идущая на привод вентилятора системы охлаждения, не превышает 100 Вт. Это указывает на значительные резервы по снижению температурной неравномерности каркаса предложенным способом.

### Литература

1. Плотников Д.А.. Разработка и исследование дисковых секционных регенераторов авто-тракторных ГТД. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., 1981.
2. Костюков А.В., Крутов М.А. и др. Способ охлаждения каркаса вращающегося дискового теплообменника и устройство для его осуществления. Патент на изобретение №2296930, 2007.
3. Костюков В.М., и др., “Вращающийся дисковый регенератор”. Авторское свидетельство на изобретение № 800579, 1981.
4. Костюков А.В., Кустарев Ю.С., Крутов М.А. Расчет распределения температур в каркасе дискового роторного теплообменника при нестационарных граничных условиях. Общероссийский научно-технический журнал “Полет” , № 10, 2005.

### **Стабилизация тепловой напряженности шин опорных катков гусеничной машины**

д.т.н. проф. Держанский В.Б., д.т.н. проф. Тараторкин И.А., Тараторкин А.И.  
ИМАШ УрО РАН, ООО «КАТЕ»  
8 (3522) 23-06-03, [dvb\\_47@mail.ru](mailto:dvb_47@mail.ru), [ig\\_tar@mail.ru](mailto:ig_tar@mail.ru), [alexandr\\_tar@mail.ru](mailto:alexandr_tar@mail.ru)

*Аннотация.* В статье приводится обоснование способа стабилизации тепловой напряженности шин опорных катков быстроходных гусеничных машин выбором угла установки блока подвески.

*Ключевые слова:* тепло, напряженность, шина, каток, опорный, равномерность, распределение.

Современные условия применения быстроходных гусеничных машин характеризуются быстротечностью, частой сменой обстановки. В этих условиях возрастает уровень требований по надежности механизмов и систем гусеничной машины, которые обеспечивают ее подвижность. Особую значимость приобретает безотказная работа гусеничного движителя,

который взаимодействует с многопараметрической внешней средой и подвержен наибольшему динамическим нагрузкам. Одним из элементов, ограничивающих долговечность движителя, являются шины опорных катков, долговечность которых во многом определяется их тепловой напряженностью. Длительное воздействие высоких температур при пробегах машин с максимальной скоростью приводит к интенсивному накоплению необратимых структурных изменений (деградации) в массивных шинах, ухудшению упругих и прочностных свойств материала и тепловому разрушению [1, 2]. Особо чувствительны к перегреву клеевые соединения массивной шины с диском опорных катков, допускаемая температура которых не превышает 150 ... 153 °С.

Нагрев шины происходит вследствие образования теплоты от внутреннего трения в процессе деформации. Значение температуры шин зависит от условий движения машины, вида грунта, температуры окружающей среды и параметров конструкции, физико-механических свойств материалов шины и беговой дорожки гусеницы, площади теплопередачи и др.

Основным параметром тепловой напряженности является температура в центральной части резинового массива шины [1, 2]. Наиболее распространенным типом измерительных приборов являются пирометры, позволяющие дистанционно определить наружную температуру шин, например Optris «LaserSight». Для определения температуры внутренних слоев по значению измеренной температуры необходимо решение уравнений теплопроводности. В этих уравнениях введен ряд параметров, граничных и начальных условий, которые в процессе проведения измерений существенно изменяются. В частности, температура наружных слоев после остановки машины быстро снижается, что снижает точность расчетных значений температуры внутренних слоев. В связи с этим разработана конструкция измерительного устройства для определения температуры внутренних слоев.

При модернизации машины с двухрядными опорными катками, с массивными шинами размера 560×95×45, взаимодействующими с обрешеченной беговой дорожкой гусеницы и гидропневморессорами, установлена высокая неравномерность распределения температуры между внутренними и наружными шинами опорных катков. Движение осуществлялось по участку сухой бетонной трассы длиной 6,0 км с максимально возможной скоростью с разворотами в конце участка.

Определение температуры внутренних слоев массивных шин проводилось двумя измерительными приборами, включающими игольчатые термопары на обоих бортах машины одновременно, а наружных слоев – пирометром Optris «LaserSight».

При выполнении измерений температуры шин за пройденный путь 72 км максимальная скорость движения составила 70 км/ч, а средняя скорость составила 48 км/ч. Наиболее нагруженными являются внутренние шины 2, 3 и 4 опорных катков обоих бортов. Максимальная температура составила 151 °С на внутренней шине 3-го опорного катка правого борта.

Из приведенных данных следует, что нагрев шин после пробега 72 км с максимальной скоростью происходит крайне неравномерно между опорными катками и особенно между внутренними и наружными шинами отдельных опорных катков. Температура внутренних шин превышает температуру наружных (2, 3 и 4 катков) на 90...102 °С. Проведенный анализ показал, что неравномерность температур связана с перекосом осей балансиров в горизонтальной плоскости от 0,1 до 0,5 градусов, вызванного действием силы реакции грунта на опорные катки. Следует отметить, что это свойственно и другим машинам с двухрядными опорными катками [3, 4].

В процессе эксплуатации машин чаще всего (до 89 %) происходит разрушение внутренних шин. Причиной является их перегрузка из-за консольного крепления опорных катков на оси балансиров. При этом большая часть нагрузки воспринимается внутренними шинами. Температура шин зависит также от условий теплопередачи, которая затруднена у внутренней шины, находящейся рядом с бортом корпуса. Перекос осей балансиров и опорных катков, связанный с упругой деформацией, может быть компенсирован установкой блока подвески в процессе сборки с некоторым углом относительно вертикальной плоскости. Многообразие и

сложность воздействия случайных сил нагружения опорных катков, условия передачи теплоты приводят к необходимости выбора угла установки решением вероятностной задачи и проведением экспериментальной оценки эффективности.

Высокочастотное нагружение и деформирование шин опорных катков, особенно при резонансных режимах, приводит к существенному росту температуры шин. При определении тепловой напряженности шин опорных катков на резонансных режимах функционирования блоков подвески, возникающих при движении со скоростью в диапазонах от 2...6 и 8...16 м/с, установлено, что при пробеге 12 км нагрев шин происходит так же, как при движении с максимальной скоростью на расстояние 72 км. Температура наиболее нагруженных внутренних шин 2, 3 и 4 опорных катков при этом составляла 128...135 °С. Как установлено дальнейшими исследованиями, это связано с параметрическими резонансами из-за переменной жесткости упругого взаимодействия шины с обрешеченной беговой дорожкой гусеницы.

Для перспективных скоростных машин с высокой удельной мощностью тепловая напряженность массивных шин возрастает. В связи с этим необходимо предусмотреть конструктивные меры, обеспечивающие повышение долговечности, в том числе за счет уменьшения перекаса осей в процессе движения машины и оптимизации упругого взаимодействия шин с беговой дорожкой гусеницы. В данной работе приводится решение двух задач:

1. Вероятностный расчет угла установки блока подвески и экспериментальная оценка эффективности этого решения;
2. Разработка конструктивных мер по совершенствованию упругого взаимодействия шины с обрешеченной беговой дорожкой гусеницы.

При решении первой задачи по определению требуемого угла установки блока подвески разработана математическая модель.

Процесс нагрева и охлаждения опорных катков описывается следующей системой дифференциальных уравнений [4, 5]:

$$\begin{cases} \frac{\partial t_{ш}}{\partial \tau} = \alpha_{ш} \left( \frac{\partial^2 t_{ш}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_{ш}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t_{ш}}{\partial z^2} \right) + \frac{q_{ш}}{C_{ш} \gamma_{ш}} \\ \frac{\partial t_{д}}{\partial \tau} = \alpha_{д} \left( \frac{\partial^2 t_{д}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_{д}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t_{д}}{\partial z^2} \right) \\ q_{ш} = 28,8 \cdot 10^3 \frac{P_{ш} V k \alpha_{тш}}{b_{ш}^2 E_{рш}} \end{cases},$$

решаемых совместно с начальными и граничными условиями, установленными уравнениями

теплообмена на границе шины и воздуха  $\alpha_{тш}(t_{шш} - t_B) = -\lambda \left( \frac{\partial t_{ш}}{\partial n} \right)_п$ , диска с ободом и возду-

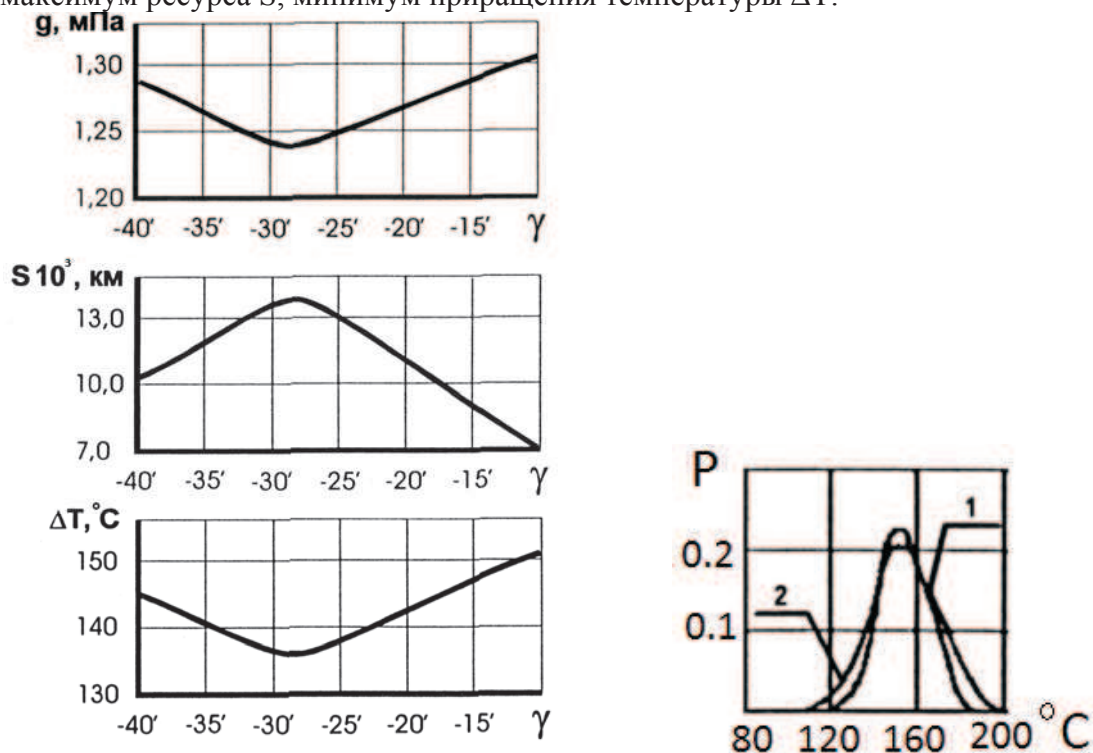
ха  $\alpha_{тд}(t_{дд} - t_B) = -\lambda \left( \frac{\partial t_{д}}{\partial n} \right)_п$  и уравнением конвективного теплообмена  $\alpha(t_{п} - t_B) = -\lambda \left( \frac{\partial t_B}{\partial n} \right)_п$ .

В этих уравнениях  $P_{ш}$  – нагрузка на шину;  $q_{ш}$  – производительность внутренних источников теплоты;  $b_{ш}$  – ширина шины;  $E_{рш}$  – модуль упругости шины;  $\alpha_{ш}$  и  $\alpha_{д}$  – коэффициенты теплопроводности соответственно шины и материала диска;  $\alpha_{тш}$  и  $\alpha_{тд}$  – коэффициенты теплоотдачи соответственно шины и диска;  $\lambda_{ш}$ ,  $\lambda_{д}$ ,  $\lambda_B$  – коэффициенты теплопроводности соответственно шины, диска и воздуха;  $t$  – температура с индексом «п», с индексов «в» – температура воздуха.

Принятая модель отличается от приведенной в работах [2, 4, 5] тем, что в ней используется вероятностный подход. Параметры, входящие в уравнение модели являются случайными функциями изменения параметров приращения температуры (установлены по литературным данным и на основе экспериментов). Эта модель позволяет определить значение угла установки блока подвески из условия, обеспечивающего равновероятное нагружение мас-

сивных шин. Для этого использовался алгоритм имитационного моделирования на основе метода Монте-Карло [3].

Из результатов моделирования следует (рисунок 1), что равная вероятность минимизации максимальной температуры слоев шин, среднего давления в контакте шина – беговая дорожка и максимального ресурса обеспечивается при значениях угла установки блока подвески 25...30 угловых минут. Это же значение угла обеспечивает минимум среднего давления  $q$ , максимум ресурса  $S$ , минимум приращения температуры  $\Delta T$ .



**Рисунок 1. Изменение параметров работоспособности шин третьего опорного катка (95% уровень значимости) при вариации угла установки блока подвески:  $q$  – среднее давление;  $S$  – ресурс, тыс. км;  $\Delta T$  – приращение температуры,  $\gamma$  – угол установки блока подвески;  $P$  – плотность распределения температуры шин опорного катка при установке блока подвески под углом 0,5 градуса**

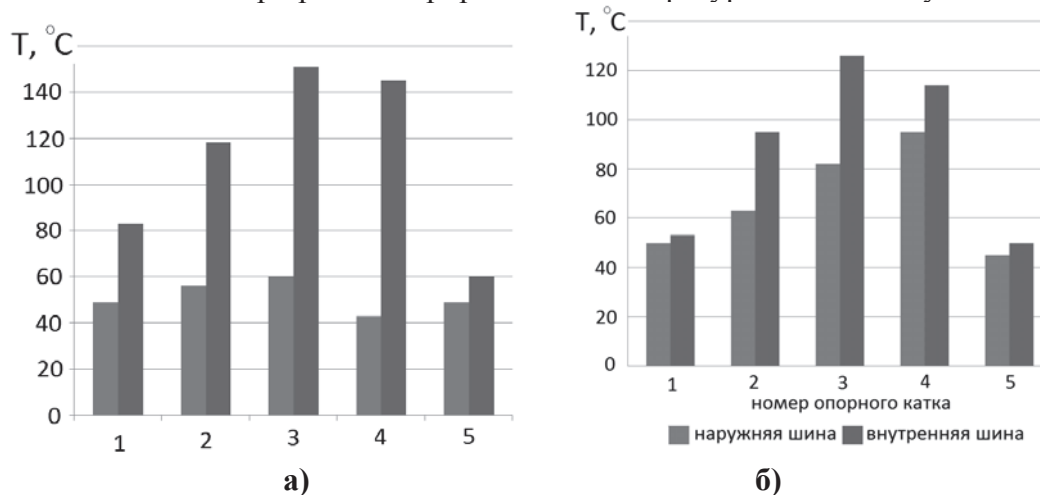
Указанные параметры определены для рассматриваемой машины в соответствии с работой [1]:

- среднее давление на поверхности контакта массивных шин и беговой дорожки гусеницы  $q = P_{ш} / (B_{ш} \cdot l_{ш})$ , где  $P_{ш}$ ,  $B_{ш}$ ,  $l_{ш}$  – соответственно статическая нагрузка на шину, ширина шины и длина хорды, по которой происходит контакт;
- ресурс  $S = 10^{(a \cdot q_{ш}^k)}$ , где  $a = 5,25$  и  $k = 8$  – эмпирические коэффициенты;
- приращение температуры  $\Delta T = T_b + \frac{Q}{\alpha_{рв} \cdot F_{ш} + \frac{F_0}{\frac{1}{\alpha_{рв}} + \frac{S_0}{\lambda_0}}}$ ,

где:  $T_b$  – температура воздуха;  $F_{ш}$  – площадь поверхности резинового массива, охлаждаемого воздухом;  $F_0$  – площадь поверхности обода, соприкасающаяся с шиной;  $Q$  – количество теплоты, выделяемой массивной шиной за 1 секунду работы.

В соответствии с этим результатом блок подвески установлен относительно борта корпуса на требуемый угол с использованием дополнительных пластин. При пробеге машины с максимальной скоростью в приведенных выше дорожных условиях и температуре окружающего воздуха распределение температур между шинами стало более равномерным (см. рисунок 2).

Из рисунка 2 следует, что введение угла установки блока подвески компенсирует упругие деформации балансира и обеспечивает более равномерного распределения тепловой напряженности между шинами, что способствует повышению ресурса массивных шин. Разность температур между внутренней и наружной шинами сократилась до  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Некоторые отличия экспериментальных данных от расчетных связаны с тем, что при расчете не учитывается разность условий отвода теплоты от внутренних и наружных шин. Следовательно, используемые зависимости при расчете приращения температур необходимо уточнить.



**Рисунок 2. Результаты замера температуры массивных шин опорных катков: (а) при установке блока в вертикальной плоскости; (б) установке блока подвески под углом  $0,5$  градуса**

При решении третьей задачи установлено, что движение машины с введенным углом установки блоков подвески с отклонением от вертикали на  $29$  угловых минут в диапазонах скорости движения от  $2$  до  $6$  и от  $8$  до  $16$  м/с также наблюдаются параметрические колебания независимо от угла установки блоков подвески. При этом температура шин повышается до предельного значения ( $150\dots152\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) за пробег в  $12$  раз меньший, чем при движении с максимальной скоростью. Выполненные экспериментальные исследования и соответствующие расчетные данные показывают, что величина упругого сближения в контакте «шина – обрезающая беговая дорожка гусеницы (ОБД)» по длине трака, следовательно, и жесткость являются переменными из-за различной толщины резинового слоя. Наибольшее упругое сближение наблюдается в зоне шарниров трака, где толщина эластичного слоя и пятно контакта имеют минимальные значения. Наименьшее упругое сближение происходит в средней части трака. Для других значений положения шины относительно трака упругое сближение имеет промежуточное значение. Полученные результаты и характер разрушений элементов ходовой части позволяют выдвинуть гипотезу о формируемых параметрических колебаниях опорных катков. Условием возбуждения таких колебаний является переменная жесткость в контакте «шина – ОБД» [6].

#### Выводы

1. Обоснованное вероятностным расчетом значение угла установки блока подвески позволило снизить неравномерность распределение тепловой напряженности между шинами опорных катков (с  $90\dots102\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).
2. Оптимизация упругого взаимодействия «шина – ОБД» позволяет уменьшить вероятность возбуждения параметрических резонансных колебаний и высокочастотного нагружения опорных катков, снизить температуру шин и повысить долговечность элементов ходовой части. Разработано техническое предложение, позволяющее стабилизировать параметр глубины модуляции жесткости по длине гусеницы [7].

#### Литература

1. Исаков П.П. Теория и конструкция танка. Т. 6. Вопросы проектирования ходовой части военных гусеничных машин. – М.: Машиностроение, 1995. – 224 с.

2. Шарипов В.М. Конструирование и расчет тракторов. – М.: Машиностроение, 2009. 752 с.
3. Юркевич А.В. и др. Вестник транспортного машиностроения. Исследование возможности выравнивания нагрузки между шинами 2-рядного опорного катка. Л.: ВНИИТМ, № 4, 1994.
4. Грах И.И., Проскуряков В.Б. Расчет теплового состояния массивных шин опорных катков ВГМ // Вестник бронетанковой техники - 1985. - №1.
5. Смирнов П.П. Повышение работоспособности опорных катков военных гусеничных машин. Автореферат дисс... канд. техн. наук. - М.: НАТИ, 2002. - 21 с.
6. Держанский В.Б., Тараторкин И.А. Формирование высокочастотного динамического нагружения элементов ходовой части гусеничной машины. Механика машин, механизмов и материалов. Международный научно-технический журнал, №2 (11) 2010, Минск, Изд-во БНТУ.
7. Гусеница транспортной машины. Патент на полезную модель №122353 от 27.11.2012 / В.Б. Держанский, И.А. Тараторкин, А.И. Тараторкин А.И. и др.

### **Применение оксигенатов в моторных топливах для ДВС с искровым зажиганием**

Егоров В.Н., Василевкин Е.В., Апелинский А.В.  
*Университет Машиностроения*  
*bioethanol\_tami@mail.ru*

*Аннотация.* В статье рассмотрены наиболее перспективные оксигенаты, применяемые в моторных топливах для улучшения энергетических и экологических показателей ДВС с искровым зажиганием.

*Ключевые слова:* оксигенаты, этанол, метанол, изопропиловый спирт, метил-трет-бутиловый эфир, этил-трет-бутиловый эфир

Среди основных тенденций развития современной топливной промышленности можно выделить такие, как ужесточение экологических требований к топливу и, как следствие этого, необходимость в производстве высокооктановых автомобильных бензинов с улучшенными экологическими характеристиками. Кроме того, приоритетным направлением экономического развития становится переход на альтернативные виды топлива из возобновляемых сырьевых ресурсов. Все это диктует необходимость пересмотра традиционных подходов к производству моторных топлив. Одним из путей решения этих вопросов, рассматриваемый во многих странах, в том числе и в России, является широкое использование оксигенатов в качестве компонентов автомобильных бензинов.

Оксигенат по определению – это кислородсодержащее соединение, такое как спирт или простой эфир, которое может быть использовано как топливо или добавка к топливу [1]. Оксигенаты характеризуются высоким октановым числом смешения, низкой летучестью, пониженной фотохимической активностью. Их применение позволяет сохранить ресурсы нефти на производство товарного бензина, понизить требования к октановым характеристикам традиционных углеводородных топлив, улучшить экологические характеристики автомобилей.

Как известно, более половины выбросов вредных веществ приходится на городской автомобильный транспорт. До 2002 года автомобильному транспорту принадлежала наибольшая доля выбросов свинца (более 90%). С 2002 года были запрещены этилированные бензины и теперь в отработавших газах свинец отсутствует. Тем не менее автомобильные топлива и продукты их сгорания в общем загрязнении атмосферного воздуха могут составлять в крупных городах и в ряде регионов до 80-90%. Наибольшая доля загрязнения приходится на оксиды углерода, серы, азота и несгоревшие углеводороды. Вредное воздействие этих соединений на организм человека общеизвестно - это нарушение функций дыхания и кровообращения, мутагенное и канцерогенное действие, раздражение верхних дыхательных путей, действие на центральную нервную систему, приводящее к различным хроническим заболе-