

15. Хлеб белый из пшеничной муки высшего, первого и второго сортов. Технические условия : ГОСТ 26987-86.
16. Сыры полутвердые. Технические условия : ГОСТ Р 52972-2008.
17. Пат. США, 6939442 / Ф. Климпл, К. Соненберг, 2005.
18. Brody, Aaron L. Active Packaging for Food Applications / Aaron L. Brody, Eugene R. Strupinsky // CPC Press, London. — P. 222.
19. Budny, J. Presentation at Pack Alimentaire / J. Budny // San Francisco, California, 1990.

УДК 620.179.13

**А. Е. Мойсейчик, Е. А. Мойсейчик**

*Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет», Минск  
Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи*

## **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ КАК ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА АГРЕГАТОВ И КОНСТРУКЦИЙ МАШИН**

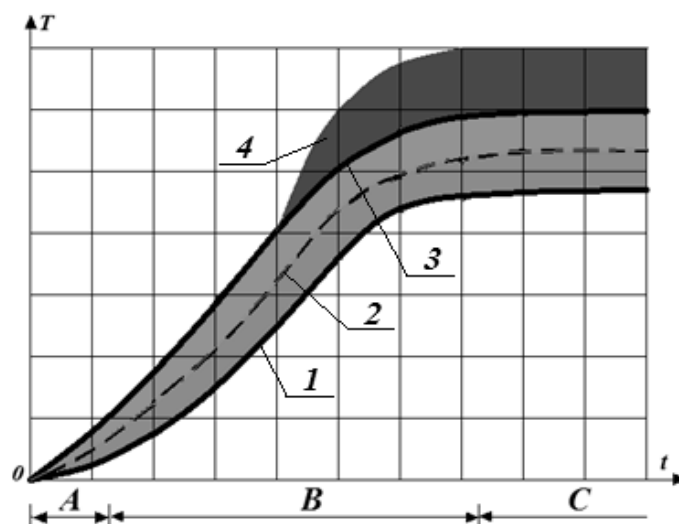
**Введение.** В машиностроении и эксплуатации автотракторной техники методам тепловой диагностики в последние годы уделяется много внимания. При тяжелых режимах работы наличие бортовых систем диагностики существенно сказывается на эксплуатационной надежности и долговечности машин.

**Основная часть.** Особенно актуальна эта проблема для эксплуатирующихся карьерных автосамосвалов [1—9]. Использование температуры в качестве диагностического параметра оценки работоспособности узлов и агрегатов машин предопределено физической природой процессов, протекающих при их кинематической работе, в результате которой до 95% механических и других форм энергии превращаются в тепловую и вызывают повышение температуры трущихся деталей, смазывающих и охлаждающих сред, пластически деформированных зон несущих элементов конструкций. В основных агрегатах автомобилей и тракторов, например двигателях внутреннего сгорания, температуру охлаждающей среды контролируют постоянно и по ней судят о его работоспособности. В остальных агрегатах, содержащих смазывающие среды (гидромеханические передачи, коробки переключения передач, редукторы ведущих мостов, гидравлические системы), постоянного контроля их температуры не ведется. Но для большегрузных карьерных автосамосвалов нагрузки на трансмиссионные узлы намного выше, чем соответствующие нагрузки для автомобилей других типов. Так, эксперименты [8] показали, что между температурой масла РМК автосамосвала БелАЗ и коэффициентом использования их грузоподъемности существует тесная корреляционная зависимость. Нагрев масла в РМК часто превышает 120°, а в летнее время при температуре окружающего воздуха 30°C зафиксировано максимальное значение температуры масла в РМК — около 161°C [8]. Нагрев масла в основном происходит за счет теплообмена с нагретыми поверхностями трущихся деталей и разогретыми металлическими частицами, попадающими в масло с поверхностей трения. При повышенных температурах трансмиссионное масло теряет свои смазывающие свойства, это приводит к ускорению износа поверхностей трения агрегатов. В других трансмиссионных узлах нагрев происходит по тому же механизму, что и в РМК. Другая группа узлов и конструкций машин работает при воздействии переменных и динамических нагрузок (пневматические шины, несущие рамы, балки, детали агрегатов и т. п.). В зонах изменений формы сечений, конструктивно-технологических дефектов, трещин в металлических изделиях при работе возникают области пластических [10] или вязкопластических деформаций [6; 7], в которых протекают процессы внутреннего трения и происходит нагрев материала в таких зонах по механизму деформационного теплообразования [10].

Высокая частота отказов шин карьерных автосамосвалов является причиной значительных затрат на поддержание работоспособности колес карьерных автосамосвалов (25...30% и более от суммы расходов на транспортирование массы [6]). Так, отказы шин карьерных автосамосвалов БелАЗ-75131 происходят в основном из-за износа протектора и порезов (около 96%). Появлению таких дефектов в шинах способствуют вздутия в материале шин, отслоения каркаса, расслоения и другие факторы, за появление которых ответственны процессы генерации теплоты при вязкопластических деформациях и термоактивация разрушения. В шинах модели 33.00R51 температура материала растет со средней скоростью 10°C / ч в первые 10 ч работы автосамосвала БелАЗ-75131, а в дальнейшем увеличивается не более, чем на 1...3°C / ч, достигая за время работы примерно 110°C [6]. Проведенные авторами работы [6] исследования зависимости температуры шин от средней температуры окружающего воздуха ( $t_{cp}$ , °C), средней эксплуатационной скорости, приходящейся на шины колес передней ( $Q_{по}$ , °C), и задней оси ( $Q_{зо}$ , °C), средней эксплуатационной скорости автосамосвала БелАЗ-75131 ( $V_{срз}$ , км / ч) позволили получить регрессионные модели для ( $t_{шпо}$ , °C) и ( $t_{шзо}$ , °C) [6]:

$$t_{шзо} = 31,7 + 0,6 t_{cp} + 0,148 Q_{зо} V_{срз} ,$$

$$t_{шпо} = 26,5 + 0,6 t_{cp} + 0,172 Q_{по} V_{срз} .$$



1 — нормативная температура агрегата; 2 — допустимая температура агрегата;  
3 — критическая температура агрегата; 4 — потенциально опасная температура агрегата

Рисунок 1 — Схема температурных режимов работы агрегата, изделия

Тепловое состояние движущихся шин зависит от многих факторов (размеров шины, геометрии рисунка протектора, механических и теплофизических характеристик материала шины, внутреннего давления в шине, нагрузки на колесо, скорости и продолжительности движения, температуры окружающего воздуха, температуры дорожного покрытия, его шероховатости и влажности) [11]. От температуры шины зависит сопротивление механическим воздействиям резины и корда шин, их сцепление, сопротивление качению колеса и долговечность шины [11]. Так, при повышении температуры от 0 до 100°C прочность капронового корда снижается до 20%, а резины и ее адгезии к корду — примерно в 2 раза [11]. При температуре выше критической для данного материала это снижение значительно. При металлокордном каркасе шин максимальные температуры в шинах на 10...20°C ниже, чем в шинах с неметаллическим каркасом. Такое явление объясняется большой теплопроводностью металлокорда, приводящей к распределению тепла на область шины, смежную с деформируемой. Нагрев произвольного агрегата (изделия) карьерного автосамосвала при различных режимах его работы можно схематически представить в пространстве «температура агрегата ( $T$ ) — продолжительность работы автосамосвала ( $t$ )» (рисунок 1). На отрезке  $A$  происходит нагрев в начальной стадии работы агрегата, на временном отрезке  $B$  развивается регулярный нагрев, а отрезок  $C$  соответствует работе агрегата в стационарном режиме. Схему рисунка 1 иллюстрируют данные исследований О. М. Ларина [11], проявившие различные температурные режимы работы материала шин. Оптимальной для долговечности и работоспособности шины является температура 70...75°C (при температуре окружающего воздуха 20°C). Температуру нагрева до 100°C автор работы [11] считает допустимой, интервал температур от 100 до 121°C — критическим, а температуры выше 121°C — потенциально опасными для работоспособности шины. Для карьерных автосамосвалов БелАЗ критические температуры материала шин совпадают с данными [11].

**Заключение.** Выполненный анализ экспериментальных исследований различных авторов доказывает перспективность технической диагностики тепловым методом агрегатов и узлов тяжело нагруженной автотракторной техники, источником теплообразования в которых являются процессы трения (двигатели, трансмиссионные узлы) или деформационное теплообразование в материалах (пневматические шины, стальные элементы с трещинами и др.). Контроль тяжело нагруженных и потенциально отказоопасных агрегатов и несущих конструкций следует проводить в режиме мониторинга их теплового состояния системой бортовой диагностики с использованием как контактных, так и бесконтактных датчиков температуры. Для более широкого применения теплового метода при диагностике автотракторной техники, в том числе техники сельскохозяйственного назначения, необходимо выполнение дополнительных исследований.

#### Список цитируемых источников

1. Бобровицкий, В. И. Механическое оборудование: техническое обслуживание и ремонт / В. И. Бобровицкий, В. А. Сидоров — Донецк : Юго-Восток, 2011. — 238 с.
2. Богданов, С. А. Разработка метода определения изменения технического состояния агрегатов трансмиссии автомобилей по показателям их теплового состояния : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Харьков, 1987. — 23 с.
3. Зайцев, А. В. Разработка метода теплового расчета ведущих мостов автомобилей : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Курган. — 1999. — 19 с.
4. Бердик, Б. Г. Смазочное масло как элемент конструкции, неразрушающего контроля и диагностики техники при эксплуатации по состоянию // Контроль. Диагностика. — 2005. — № 5. — С. 23—26.

5. Хорешок, А. А. Влияние условий эксплуатации на тепловое состояние редукторов мотор-колес автосамосвалов БелАЗ / А. А. Хорешок, Д. В. Стенин, Н. А. Стенина // Вестн. Кузбас. гос. техн. ун-та. — 2012. — № 2. — С. 28—30.
6. Горюнов, С. В. Прогнозирование эксплуатационной температуры пневматических шин карьерных автосамосвалов / С. В. Горюнов, В. М. Шарипов // Изв. ИГТУ «МАМИ». — 2012. — Т. 1. — № 2(14). — С. 89—92.
7. Шарипов, В. М. Прогнозирование долговечности пневматических шин карьерных автосамосвалов / В. М. Шарипов, С. В. Горюнов. — 2015. — С. 127—130.
8. Стенин, Д. В. Оценка влияния загрузки на надежность редукторов мотор-колес карьерных автомобилей / Д. В. Стенин, Н. А. Стенина, Ю. Е. Воронов // Вестн. Кузбас. гос. техн. ун-та. — 2017. — № 2. — С. 94—99.
9. Вавилов, В. П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. — М.: Спектр, 2009. — 544 с.
10. Мойсейчик, Е. А. Исследование теплообразования и зарождения разрушения в стальной растянутой пластине с конструктивно-технологическим дефектом // Прикладная механика и техническая физика. — 2013. — № 1. — С. 134—142.
11. Ларін, О. М. Теоретичні основи оцінки працездатності шин легкового автомобіля у експлуатації: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.20 / О. М. Ларін. — Київ, 2001. — 392 л.

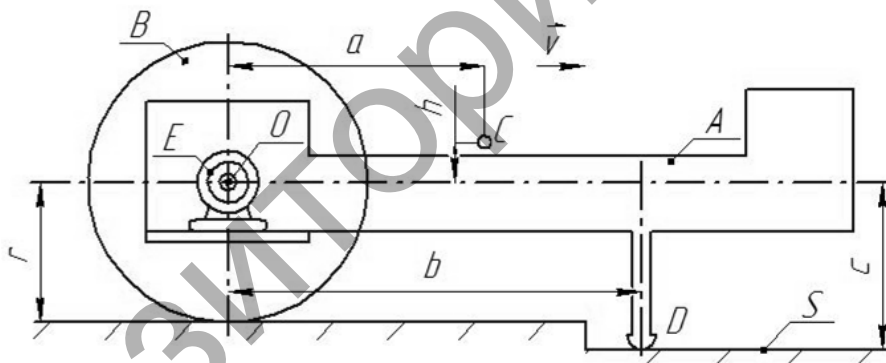
УДК 531.8

А. М. Новік, І. М. Дыдышка, С. І. Русан

Установа адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт», Баранавічы

### АЦЭНКА ЎПЛЫВУ РАДЫУСА КОЛА НА ПАЧАТКОВЫ МОМЕНТ $M_n$ І ЎСТАЛЯваную СКОРАСЦЬ $\vartheta_y$ МАБІЛЬнай МЕХАнічнай СІСТЭМЫ

**Уступ.** Мэта даследавання — распрацоўка алгарытма пошуку аптымальных параметраў руху мабільнай механічнай сістэмы (машыны). Прадставім яе спрошчаную мадэль (рысунк 1). Мабільная сістэма складаецца са станіны  $A$  масы  $m_A$  з рабочым органам  $D$ , кола  $B$  масы  $m_B$  і электрарухавіка  $E$ , маса якога далучана да целаў  $A$  і  $B$  і ўлічана ў значэннях  $m_A$ ,  $m_B$ . Момент, ствараемы рухавіком, на рысунку абазначаны літарай  $M$ . Аб паходжанні назвы сістэмы і яе прызначэнні напісана ў работах [1—3], працягам якіх з’яўляецца дадзенае даследаванне.



Рысунк 1 — Агульны выгляд мабільнай механічнай сістэмы

**Асноўная частка.** У працэсе работы машыны выдзяляецца некалькі характэрных яе станаў. Пасля ўключэння рухавіка ствараемы ім момант за прамежак часу  $\tau$  узрастае ад нуля да стартавага (пачатковага) значэння  $M_n$ . Пры  $t = \tau$  пачынаецца рух мабільнай сістэмы ў пераходным рэжыме працягласцю  $t = \tau_y$ ; пры гэтым яе скорасць узрастае ад нуля да некаторага ўсталяванага значэння  $\vartheta_y$ . Далей рух машыны працягваецца з пастаяннай скорасцю  $\vartheta_y$ . Падчас руху магчыма зніжэнне скорасці да велічыні  $\mu\vartheta_y$ , дзе  $\mu < 1$  — каэфіцыент зніжэння ўсталяванай скорасці. У машынах рознага прызначэння дамінуюць розныя характарыстыкі. Атрыманая ва ўпамнутых работах [1—3] тэарэтычныя залежнасці паміж інерцыйнымі, дынамічнымі і кінематычнымі параметрамі дазваляюць на пачатковай стадыі праектавання мабільных машын устанавіць патрэбныя аптымальныя характарыстыкі іх руху.

Прыводзім некаторыя з атрыманых суадносін:

$$(M_n = a_2/a_1; \vartheta_y = D_1/k^2; \tau = b_1 \ln[b_3/(b_3 - b_2 M_n)]/b_2; s_1 = \gamma_1 \vartheta_y; s_2 = \gamma_2 \vartheta_y^2). \quad (1)$$