

*В. С. Язубов\**

**САМОРЕГУЛИРУЕМЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРЕВАТЕЛИ  
НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ  
УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ,  
ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Разработка инновационных композитных составов на основе углеродных наноматериалов, применяемых в различных отраслях промышленности, является актуальной задачей. Климатические условия на территории РФ в зимний период вынуждают производителей автотранспортной техники комплектовать выпускаемые автомобили специальными электрообогревательными устройствами. К таким системам можно отнести: подогреватели сидений, лобового стекла, зеркал заднего вида и т.д. Многие автомобили оборудованы специальными устройствами электрообогрева картеров двигателей внутреннего сгорания, специальными нагревателями, установленными внутрь или снаружи радиаторов, наружными нагревателями масляных фильтров и т.д. Все эти вспомогательные устройства помогают ускорить процесс прогрева двигателя автомобиля, а самое главное – снизить уровень токсичности выхлопных газов при первом пуске двигателя в холодный период времени. Самые опасные выбросы выхлопных газов выделяются при первом пуске двигателя при температуре окружающей среды ниже 0 °С [1]. В работе [2] ученые решают проблему пуска дизельных двигателей в условиях низких температур окружающей среды.

Мировыми лидерами по выпуску систем подогрева автомобилей являются такие фирмы, как «Webasto», «Eberspacher», «Defa» и др., которые выпускают автономные подогревательные элементы для различных узлов двигателей. Самым главным недостатком таких нагревательных устройств является потребность в источнике питания с напряжением 220 В. Наряду с устройствами, не обладающими мобильностью, существуют различные нагревательные пластины, которые способны подогревать картер двигателя, питаясь постоянным электрическим током от общей сети питания автомобиля (12...24 В). Такие пластины производят фирмы: «Keenovo», «Hotstart» и др.

---

\* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВО «ПГТУ» А. В. Щеголькова.

Данные нагреватели требуют длительного рабочего режима для прогрева узлов двигателей. Размерный ряд нагревательных пластин ограничен, соответственно для обогрева крупных узлов потребуются использовать несколько таких пластин, что сделает конструкцию экономически не выгодной.

В качестве основы гибких электронагревателей используют различные полимеры. В работе [3] ученые исследуют эластичные, прозрачные двухслойные пленки на основе полидиметилсилоксанового каучука, модифицированного углеродными нанотрубками. Главной задачей данной работы является получение прозрачных электронагревателей, нагрев которых происходит за счет электропроводящих контактов, образованных частицами модификатора, а именно углеродными нанотрубками. В работе [4] проведено исследование фторопластов модифицированных графеноподобными структурами. При подаче электрического напряжения модифицированная полимерная композиция обладает эффектом саморегулирования температуры.

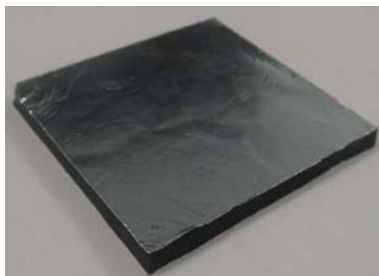
Целью и задачами данного исследования является: разработка гибкого наномодифицированного нагревателя, который отличается от существующих тем, что в качестве основы используется силиконовый каучук; разработка методики изготовления наномодифицированного композита; разработка методики измерения электрофизических характеристик наномодифицированных композитов.

В качестве основы наномодифицированного композита использовали двухкомпонентный (основа-отвердитель) компаунд на основе силиконового каучука, который является диэлектриком. Для придания электропроводности в композит вводили модификаторы, в качестве которых использовали углеродные нанотрубки (УНТ) «Таунит-М» (ООО «НанТехЦентр», Тамбов).

Приготовление саморегулируемого нагревателя на основе наномодифицированного силиконового каучука (рис. 1, *а*) производили в 2 этапа. На первом этапе изготавливали наномодифицированный композит для саморегулируемого нагревателя. На втором этапе формовали полученный композит между двумя алюминиевыми листами толщиной 35 мкм.

Для испытания собрали измерительный стенд (рис. 1, *б*), который позволяет снимать электрофизические параметры нагревателей и контролировать температуру.

С помощью тепловизора Testo 875 исследовали распределение температурного поля на поверхности наномодифицированного нагревателя рис. 2.



a)



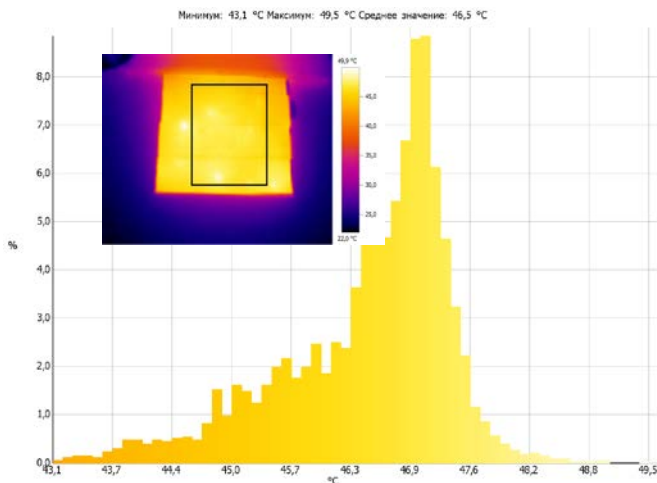
b)

Рис. 1. Саморегулируемый нагреватель на основе наномодифицированного силиконового каучука (a) и стенд для его испытания (б)

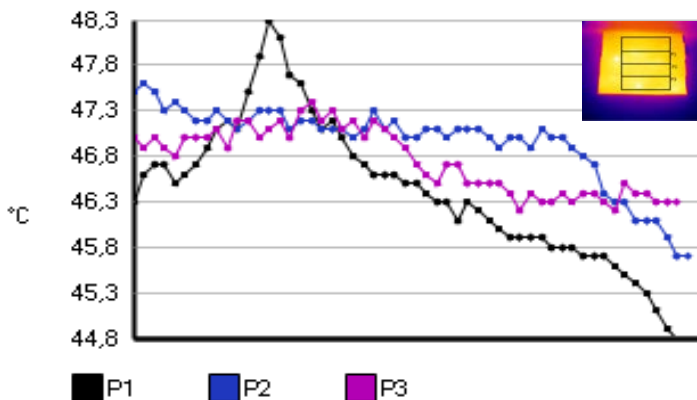
Из анализа гистограммы установлено, что участки со средним значением температуры  $46,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  на поверхности наномодифицированного нагревателя, подключенного к источнику постоянного тока с напряжением  $12\text{ В}$  встречаются в большем количестве (см. рис. 2). Максимальная температура нагревателя составляет  $49,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

По распределению температур по сечениям P1, P2 и P3 (рис. 3), проведенным вдоль поверхности нагревателя, видно, что участков со средней температурой больше. Присутствуют незначительные отклонения температур в разных точках, что связано с образованием агрегатов, состоящих из частиц «Таунит-М».

Установлено, что нагреватель способен поддерживать постоянное значение температурного поля при питающем напряжении  $12\text{ В}$ . Разработанный наномодифицированный нагреватель может быть использован в системах электрообогрева автотранспортной техники для подогрева моторного топлива, масла, а также охлаждающей жидкости. Допустимо применение нагревателя на элементах двигателей, коробках передач, мостов и дифференциалов, обладающих повышенной вибрацией.



**Рис. 2. Термограмма наномодифицированного нагревателя и гистограмма распределения температур на его поверхности**



**Рис. 3. Распределение температурного поля по сечениям на поверхности наномодифицированного нагревательного элемента**

Отличительной особенностью нагревателя является работа с поддержанием заданных параметров без специальной регулирующей автоматики и первичных измерительных преобразователей. Высокая удельная мощность до  $500 \text{ Вт/м}^2$  и толщина не более 5 мм указывает на эффективность массо-габаритных параметров разрабатываемых нагревателей.

## Список литературы

1. **Калинин, В. Ф.** Математическое моделирование совместных режимов работы средств терморегулирования топлива и питающего воздуха в дизельных двигателях / В. Ф. Калинин, А. В. Щегольков // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2010. – № 1-3(28). – С. 23 – 27.
2. **Калинин, В. Ф.** Система электронагрева питающего воздуха и терморегулирования топлива в дизельных двигателях / В. Ф. Калинин, А. В. Щегольков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2009. – Т. 15, № 2. – С. 396 – 400.
3. **Yan, J.** Highly elastic and transparent multiwalled carbon nanotube/polydimethylsiloxane bilayer films as electric heating materials / J. Yan, Y. G. Jeong // Materials & Design. – 2015. – V. 86. – P. 72 – 79.
4. **Влияние** графеноподобных структур на эффект саморегулирования температуры в электропроводящем полимерном материале / А. В. Щегольков, Н. В. Парамонова, А. В. Хробак и др. // Сильно коррелированные двумерные системы: от теории к практике : тез. докл. Всерос. конф. с международным участием. – 2018. – С. 615.

*Кафедра «Техника и технологии производства нанопродуктов»  
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*