

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛИ ДЛЯ СИСТЕМ ПОВЕРХНОСТНО-РАСПРЕДЕЛЕННОГО ОБОГРЕВА

А.Б. Дорош, Т.М.Халина, М.В.Халин

В статье предлагается система локального поверхностно-распределенного электрообогрева с использованием многоэлектродных композиционных электрообогревателей, работающих в энергоэффективном режиме саморегулирования, на объектах сельскохозяйственного назначения, энергетики и связи, расположенных в удаленных и труднодоступных сельских территориях. Приведены метод расчета и результаты экспериментальных исследований электрофизических параметров композиционных электрообогревателей.

Ключевые слова: сельские территории, многоэлектродный композиционный электрообогреватель, энергоэффективные системы обогрева, индукционный счетчик электроэнергии, оборудование электронной связи.

Приоритетами энергетической стратегии России в настоящее время являются социальная направленность развития энергетического комплекса, предусматривающая повышение жизненного уровня населения, в т.ч. сельских и труднодоступных территорий; использование энергоэффективных энергосберегающих технологий и технических средств.

Повышение энергоэффективности потребления электроэнергии связано с разработкой и внедрением современных систем, обеспечивающих высокотехнологичный поверхностно-распределенный обогрев в сельском хозяйстве, энергетике и связи.

В настоящее время существуют различные системы электрического обогрева: традиционные на основе резисторов ПЭВ и ламп накаливания для обогрева счетчиков в электроцитах и телекоммуникационной аппаратуры и аппаратуры спутниковой связи в контейнерах по ее размещению; конструкции ЦНИПТИМЭЖ, ВИЭСХ и БИМЭСХ для поверхностно-распределенного обогрева молодняка животных в сельскохозяйственном производстве; современные с использованием резистивных, саморегулируемых кабелей, нагревательных карбоновых инфракрасных пленок различной мощности и стержневых матов [1-3]. Неэффективность способов обогрева на основе резисторов ПЭВ, ламп накаливания, конструкций ЦНИПТИМЭЖ и ВИЭСХ объясняется использованием значительной мощности для обогрева, неравномерным распределением температуры по обогреваемой поверхности, малой нагрузкой на отказ элементов нагрева. Пленочные

электрообогреватели разработок БИМЭСХ на основе стекловидных изоляционных и металлонаполненных покрытий имеют недостаточные физико-механические и диэлектрические характеристики, обусловленные неоднородностью стекломатериала.

Системы обогрева на основе греющих кабелей предназначены для различных сегментов рынка и используются в ЖКХ для стаивания снега и льда в желобах и водосточках (кабели типов GiTe), для защиты труб и трубопроводов от замерзания (кабели типов MTF, EMTF, FSM, FSLe, HWR). Наиболее энергоэффективными, но и более дорогими являются саморегулирующиеся кабели, в т.ч. типов FSM, FSLe, HWR на основе полупроводниковой саморегулирующейся матрицы. В последние годы разработаны еще более экономичные инфракрасные карбоновые термопленки (тип CALEO) и стержневые маты из параллельно соединенных карбоновых стержней (тип UNIMAT), обеспечивающие уменьшение потребляемой мощности с увеличением температуры окружающей среды и получившие широкое применение в качестве теплых полов в помещениях с неагрессивной средой. Таким образом, известные системы электрообогрева, обладая несомненными достоинствами, не лишены определенных недостатков, не позволяющих сочетать энергоэффективный экономичный обогрев с высокими диэлектрическими характеристиками, возможностями обеспечить равномерное распределение температуры и использование во влажных и агрессивных средах.

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛИ ДЛЯ СИСТЕМ
ПОВЕРХНОСТНО-РАСПРЕДЕЛЕННОГО ОБОГРЕВА**

Поэтому разработка и создание технических средств и систем обогрева, обеспечивающих сочетание вышеперечисленных свойств, представляют собой проблему, имеющую важное научно-техническое значение.

Выполненный системно-аналитический анализ отечественных и зарубежных композиционных электрообогревателей низкотемпературного поверхностно-распределенного нагрева позволил установить комплекс основных электро-, теплофизических характеристик разрабатываемых многоэлектродных композиционных электрообогревателей (МКЭ) таких, как: температура на поверхности или ее отклонение, удельная мощность, диэлектрические характеристики, структура материалов резистивного и изоляционного слоев и выявил необходимость определения их взаимосвязи с важнейшими эксплуатационными характеристиками - надежностью, электробезопасностью, стойкостью к агрессивным средам и тепловому старению, экологичностью, что обуславливает условия и границы их применения [4].

Для обеспечения эффективного проектирования установлена в явном виде зависимость электрической проводимости многоэлектродной системы G_k от геометрических и эксплуатационных параметров электрообогревателя на основе анализа структуры потенциальных полей в квазиоднородных средах композиционных материалов [5, 6]. Решение задачи выполнено методом непосредственного определения напряженности электрического поля в сочетании с методом конформных преобразований с учетом математической аналогии между электростатическим и стационарным электрическим полями [7].

Для определения электрической проводимости указанных электрообогревателей воспользуемся формулами расчета точной G_2/Γ и приближенной \tilde{G}_2/Γ безразмерных проводимостей на единицу длины двухэлектродного электрообогревателя, которые имеют вид [5, 8]:

$$\frac{G_2}{\Gamma} = \frac{I_{2l}}{\Delta U} = \frac{K(k')}{K(k)}; \quad (1)$$

$$\frac{\tilde{G}_2}{\Gamma} = \frac{h}{l \left(1 + \frac{2h}{pl} \ln \frac{2h}{p\alpha} \right)}, \quad (2)$$

$$\frac{\tilde{G}_2}{\Gamma} = \frac{h}{l \left(1 + \frac{\alpha}{l} - 0,88 \frac{h}{l} \right)}, \quad (3)$$

где G_2 и \tilde{G}_2 - точная и приближенные проводимости на единицу длины; ΔU - разность потенциалов между электродами, В; I_{2l} - ток на единицу длины электрода, проходящий через электропроводный материал, А; α - ширина электрода, м; $2h$ - ширина электропроводного слоя, м; $2l$ - длина электропроводного слоя, м; γ - удельная электропроводность композиционного материала (КМ), См/м; K и K' - полные эллиптические интегралы первого рода с модулями:

$$k = \operatorname{sn} \left(K_0 \frac{1-a}{l}, k_0 \right); \quad (4)$$

$$k' = \sqrt{1 - k^2}, \quad (5)$$

причем модуль k_0 эллиптического синуса $\operatorname{sn}(u, k_0)$ и полного эллиптического интеграла первого рода K_0 определяется по формуле:

$$k_0 = 4\sqrt{g} \left[\frac{1 + g^{1.2} + g^{2.3} + g^{3.4} + \dots + g^{n(n+1)}}{1 + 2g + 2g^4 + 2g^9 + 2g^{16} + \dots + 2g^{n^2}} \right]^{-2}, \quad (6)$$

где $g = e^{-\pi \frac{h}{2l}}$.

При этом установлено [6], что безразмерная проводимость G_k/Γ многоэлектродной системы в общем виде определяется выражением $G_k/\Gamma = (n-1)G_2/\Gamma$, где значения отношений проводимостей G_k/G_2 с порядковыми номерами k - систем и количеством электродов n в них приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Таблица соответствий

k	1	2	3	4	5
n	3	5	9	17	33
G_k/G_2	2	4	8	16	32

Полученные результаты позволяют рассчитывать электрические проводимости многоэлектродных низкотемпературных композиционных электрообогревателей в зависимости от их конструктивных параметров, в т.ч. α , h , l

В соответствии с установленной удельной электропроводностью КМ γ осуществляют направленный выбор состава композиции и технологического регламента изготовления композиционного материала, обеспечивая

наиболее энергоэффективный режим работы МКЭ и системы обогрева в целом. Последний обеспечивается саморегулированием мощ-

Для определения характера электропроводности КМ необходимо провести исследования зависимости удельного объемного сопротивления электропроводного слоя от изменения температуры. С этой целью была выбрана партия многоэлектродных композиционных электрообогревателей (МКЭ-1) из слабонаполненных бутилкаучуков. Измерения проводились при температуре окружающей среды 18⁰С. Образец располагали на деревянном основании, на электрообогреватель подавалось напряжение 220 В, частотой 50 Гц. Через каждые пять минут в течение первого часа и через каждые десять в течение второго измерялись напряжение, ток, проходящий через электрообогреватель, и температура на его поверхности. Измерения проводились в течение 2 часов. Затем по известным формулам были рассчитаны значения удельных объемных сопротивлений. Результаты измерений и расчетов представлены на рисунке 1 [9].

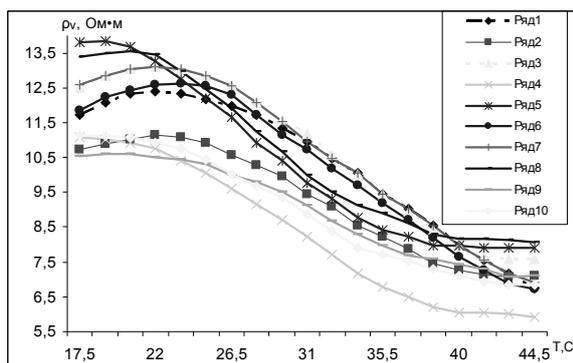


Рисунок 1 – Зависимости удельного объемного сопротивления партии образцов МКЭ-1 от температуры

У исследованной партии образцов после достижения определенной температуры наблюдается снижение удельных объемных сопротивлений, что свидетельствует об отрицательном температурном коэффициенте, присущем полимерным полупроводниковым материалам. Характер приведенных зависимостей показывает преобладание связей проводящий наполнитель – проводящий наполнитель по отношению к связям полимер – проводящий наполнитель в резистивной фазе КМ, сложившееся в результате усиления тепловой эмиссии электронов в бутилкаучуковой матрице, увеличения их подвижности и осуществления перемещения зарядов в местах разрыва токопроводящих цепочек за счет

ности за счет определенной организации углеродных структур электропроводящего КМ.

туннельного эффекта. Это обстоятельство делает возможным работу МКЭ в энергоэффективном режиме саморегулирования. В данном случае рецептура композиции в отличие от высоконаполненных полимеров содержит: 19,5±21,5 мас.% технического углерода (ТУ), уменьшенное количество жирных органических кислот, например, стеариновой кислоты (1,44±1,53 мас.%). В следствие этого при технологии изготовления следует увеличить время смешения до 9 мин., вулканизацию провести в два этапа: на первом этапе - при температуре 172-174⁰С, давлении 12 - 13Мпа в течение 0,5-1 мин, на втором этапе - при температуре 165-167⁰С, давлении 11-11,5 МПа в течение 30-35 мин, [9].

Таким образом, направленным изменением ингредиентов композиции и регулированием технологического регламента изготовления получим МКЭ, обеспечивающие работу в режиме саморегулирования. С учетом вышеизложенного были определены основные технические характеристики МКЭ, позволяющие использовать их в щитах учета (ЩУ) электроэнергии:

- напряжение питания, В - 220±5%;
- удельная мощность, Вт/м² - 1200;
- номинальная мощность, Вт - 20-30 ± 10%;
- габариты*, мм - 200x135x10;
- номинальная частота, Гц - 50±2%;
- температура на поверхности - от + 10° С до +75° С ± 15% при температуре окружающей среды - от - 40° С до +25° С;
- масса, кг - 0,35±2%;
- сопротивление изоляции, МОм -1000;
- ток утечки на поверхности, мА - 0,05;
- максимальная кратковременная температура на поверхности НТМКЭ - до+150° С.

По результатам проведенных сертификационных испытаний представленный образец продукции (МКЭ-1) соответствует требованиям электро-пожаробезопасности по ГОСТ Р 52161.1-2004 (МЭК 60335-1:2001) [4].

Разработанный МКЭ пластинчатого типа 1, работающий в режиме саморегулирования, использован в системе обогрева однофазных и трехфазных счетчиков индукционного типа в щитах отдельного учета электроэнергии (рисунок 2). МКЭ размещен внутри щита отдельного учета электроэнергии (на чертеже не показан) плотно прилегающим к несущей поверхности 2 карболитового корпуса 3 трехфазного индукционного счетчика, и содержит регулятор температуры 4 [4].

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛИ ДЛЯ СИСТЕМ ПОВЕРХНОСТНО-РАСПРЕДЕЛЕННОГО ОБОГРЕВА

Регулятор температуры 4 выполнен в виде механического термореле ТРМ-11, установлен внутри автоматического выключателя 8 и связан через него с многоэлектродным композиционным электрообогревателем 1.

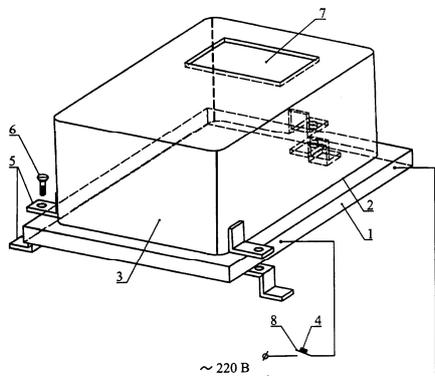


Рисунок 2 - Система обогрева трехфазного индукционного счетчика в щите раздельного учета электроэнергии

Система электрообогрева предусматривает обеспечение и поддержание заданной положительной температуры трехфазного индукционного счетчика, так как при температуре окружающего воздуха ниже 0°C счетный механизм трехфазного индукционного счетчика замедляет вращение, что приводит к недостоверному определению количества потребляемой электроэнергии. Когда температура окружающего воздуха опускается до значения, которое находится в заданном диапазоне регулировки температур, например до 0°C , механическое термореле срабатывает на включение, автоматически замыкается его термоконттакт, и автоматический выключатель 4 обеспечивает соединение источника переменного тока с многоэлектродным композиционным электрообогревателем 1, что приводит к повышению температуры [4, 9].

Предлагаемая система обогрева ЩУ с использованием МКЭ позволяет снизить энергозатраты по сравнению с известными средствами в $2,5\div 3$ раза при снижении материальных затрат.

Поступательное развитие сельских территорий связано с расширением использования телекоммуникационной аппаратуры и аппаратуры спутниковой связи в труднодоступных и удаленных районах.

В соответствии с требованиями технической эксплуатации для бесперебойного функционирования систем электронной связи необходимо поддержание температуры внутри контейнера в диапазоне $+21 \div 23 \pm 2^{\circ}\text{C}$, что исключает образование конденсата при резких

перепадах температур (ночные заморозки) в летнее время. В целях уменьшения затрат на обогрев всего помещения АТС МС-240 традиционными способами (масляные радиаторы, электрокалориферы) определены зоны необходимого локального обогрева контейнеров устройств и установок электронной связи и аккумуляторных батарей резервного питания. Установленная в них система обогрева (рисунок 3) с использованием 2-х МКЭ - 1/1, размером $200 \times 135 \times 10 \pm 5\%$, размещенных в контейнере, и МКЭ - 1/2, размером $570 \times 400 \times 10 \pm 5\%$, установленного под аккумуляторными батареями, общей мощностью $120 \div 150$ Вт, обеспечивает температуру в заданном диапазоне температур.

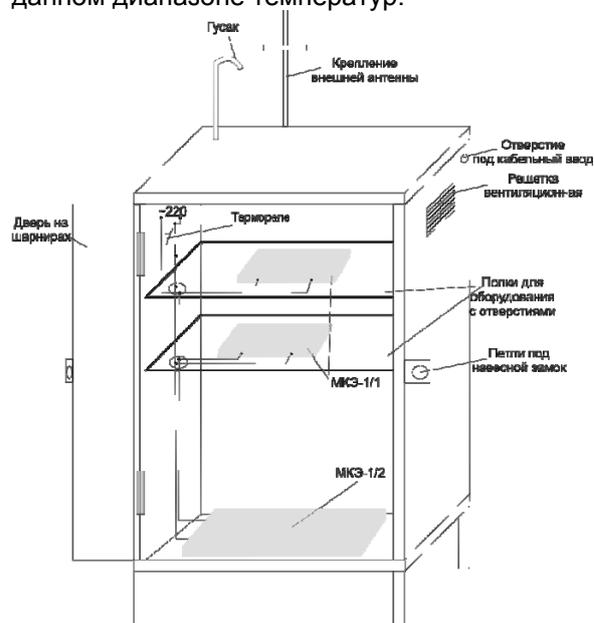


Рисунок 3 - Контейнер для оборудования электронной связи с системой обогрева

В течение 2010-2011 г.г. Алтайским филиалом ОАО «Ростелеком» в шести районах Алтайского края установлены 27 контейнеров с системой обогрева на основе МКЭ, в т.ч.: в Третьяковском, Михайловском, Калманском, Бурлинском, Табунском районах - по 1шт., в Шипуновском, Курьинском (предгорном), Хабарском районах - по 2шт., Солонешенском (предгорном) районе - 5шт., в Чарышском (предгорном) районе - 11шт.

По данным ОАО «Ростелеком» расход электрической энергии на обогрев и собственные нужды оборудования электронной связи составил от 5 до $3490 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ в зависимости от района Алтайского края, полученные результаты приведены в таблице 2, диаграмма потребления электрической энергии вышеуказанным оборудованием для ряда районов Алтайского края представлена на

рисунке 4. Среднесуточные значения температуры окружающей среды согласно данным

метеостанций за 2010-2011г.г.приведены на рисунке 5.

Таблица 2 - Расход электрической энергии на обогрев и собственные нужды оборудования электронной связи

Объект учёта электроэнергии	Расход электрической энергии по приборам учёта, (кВт*ч)							
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август
Курынский р-н, 2010г. - до установки СО* с МКЭ, с. Казанцево ул. Белореченская, 28	1917	1103	1359	814	384	233	161	
Курынский р-н, 2011г. - после установки СО с МКЭ, с. Казанцево ул. Белореченская, 28	1401	409	494	185	125	131	106	115
Красногорский р-н, 2010г. - до установки СО с МКЭ, п. Талый	421	280	495	217	101	163	142	130
Красногорский р-н, 2011г. - после установки СО с МКЭ, п. Талый	526	236	150	150	124	163	168	159
Михайловский р-н, 2010г. - до установки СО с МКЭ, п. Ащегуль	507	764	429	257	231	361	98	227
Михайловский р-н, 2011г. - после установки СО с МКЭ, п. Ащегуль	596	592	357	263	200	253	209	205
Солонешенский р-н, 2010г. - до установки СО с МКЭ, с. Тележиха	2850	760	150	3490	100	100	80	80
Солонешенский р-н, 2011г. - после установки СО с МКЭ, с. Тележиха	60	60	60	60	10	10	5	10

СО* - система обогрева

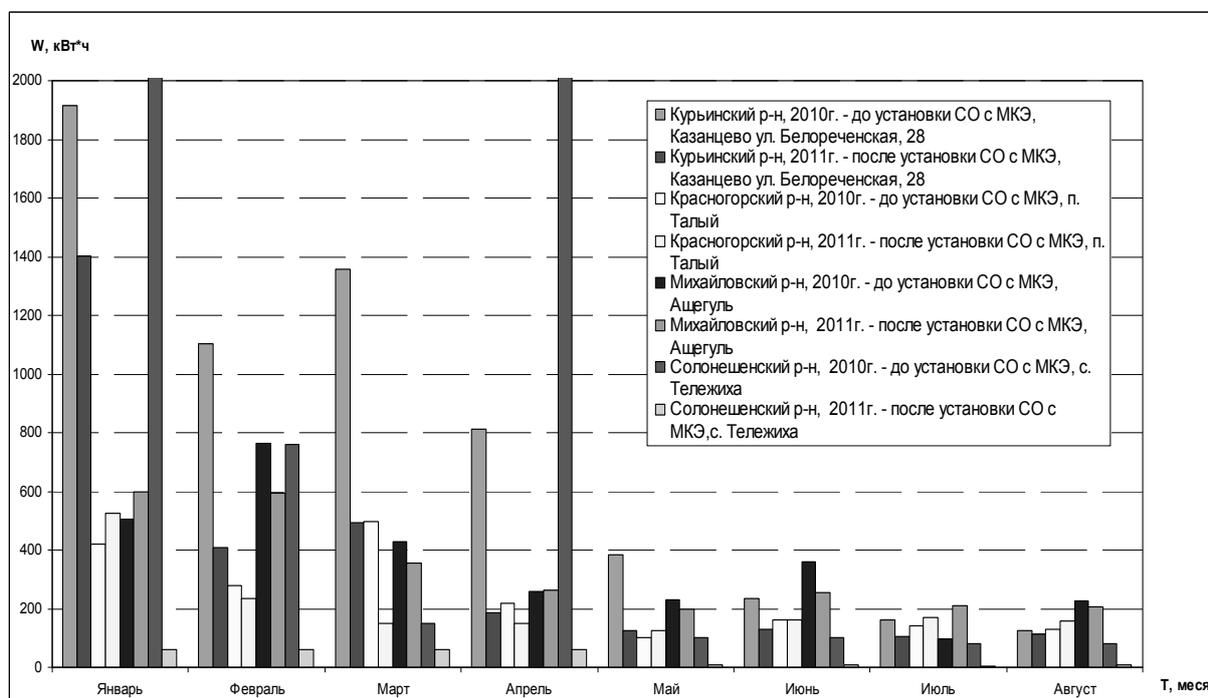


Рисунок 4 - Диаграмма потребления электрической энергии оборудованием электронной связи до и после установки систем обогрева с МКЭ

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛИ ДЛЯ СИСТЕМ ПОВЕРХНОСТНО-РАСПРЕДЕЛЕННОГО ОБОГРЕВА

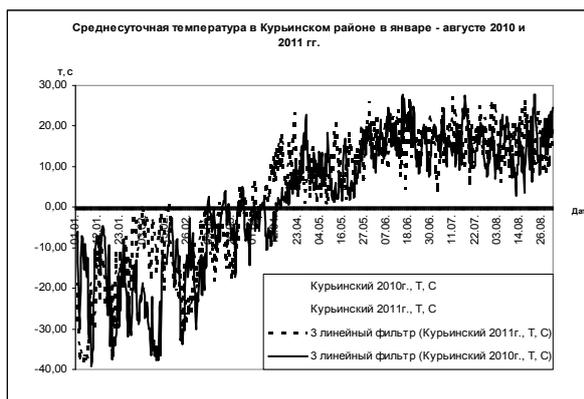


Рисунок 5 - Среднесуточная температура окружающей среды в Курьинском районе в январе-августе 2010 и 2011 гг.

Анализ полученных результатов показал, что в среднем уменьшение затрат электроэнергии на эксплуатацию одного контейнера с оборудованием системы электронной связи составляет: для равнинных районов Алтайского края - 200 кВт*ч, а в предгорных районах - более 7000 кВт*ч.

Производственные испытания системы обогрева контейнеров электронной связи показали целесообразность и эффективность ее использования в регионах Сибири в круглогодичном режиме [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нагревательные кабели HEAT TRACE <http://betspb.ru/catalog/samoreguliruyushiyshisya-nagrevatelnyj-kabel.html>
2. Инфракрасный пленочный теплый пол CALEO: без стяжки и клея, для дома и дачи <http://www.caleo.ru/>
3. Теплый пол Unimat - надежный и экономичный <http://www.unimat.su/>
4. Халина, Т.М. Разработка энергоэффективных технологий обогрева и опытных образцов изделий на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателей: отчет о НИОКР / Т.М. Халина, М.В. Халин, А.Б. Дорош, и др. // Энерго

ЭффектТехнология - ГР № 01201164482, ГК № 8796р/6815. - Барнаул, 2012. - 123 с.

5. Халина, Т.М. Многоэлектродные системы низкотемпературных композиционных электрообогревателей для агропромышленного комплекса: дис... докт. техн. наук / Т.М. Халина. - Барнаул, 2005. - 445 с.

6. Халина, Т.М. Расчет электрической проводимости между системами электродов в композиционном электрообогревателе / Т.М. Халина // Электричество. - 2003. - № 10. - С. 53 - 61.

7. Иоссель, Ю.Я. Расчет электрической емкости. / Ю.Я. Иоссель, Э.С. Кочанов, М.Г. Струнский.- Л.: Энергоатомиздат, 1981. - 288 с.

8. Дорош, А.Б. Многоэлектродные композиционные электрообогреватели для энергоэффективных систем обогрева / А.Б. Дорош, Т.М. Халина, М.В. Халин // НАН Азербайджана, Баку: Изд-во : ЭЛМ.- Проблемы энергетики. - 2012. - № 1. - С. 102 - 111.

9. Заявка № 2011136621 Рф. Способ изготовления многоэлектродного композиционного электрообогревателя / Т. М. Халина, М.В. Халин, А.Б. Дорош; заявл. 02.09.2011; положительное решение от 27.09.2012.

Дорош Александр Борисович, ассистент каф. «Электротехника и автоматизированный электропривод» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Халина Татьяна Михайловна, докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Электротехника и автоматизированный электропривод» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, E-mail: temf@yandex.ru

Халин Михаил Васильевич, докт. техн. наук, профессор кафедры «Электротехника и автоматизированный электропривод» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова