

УДК.691.372.001:621.316.8

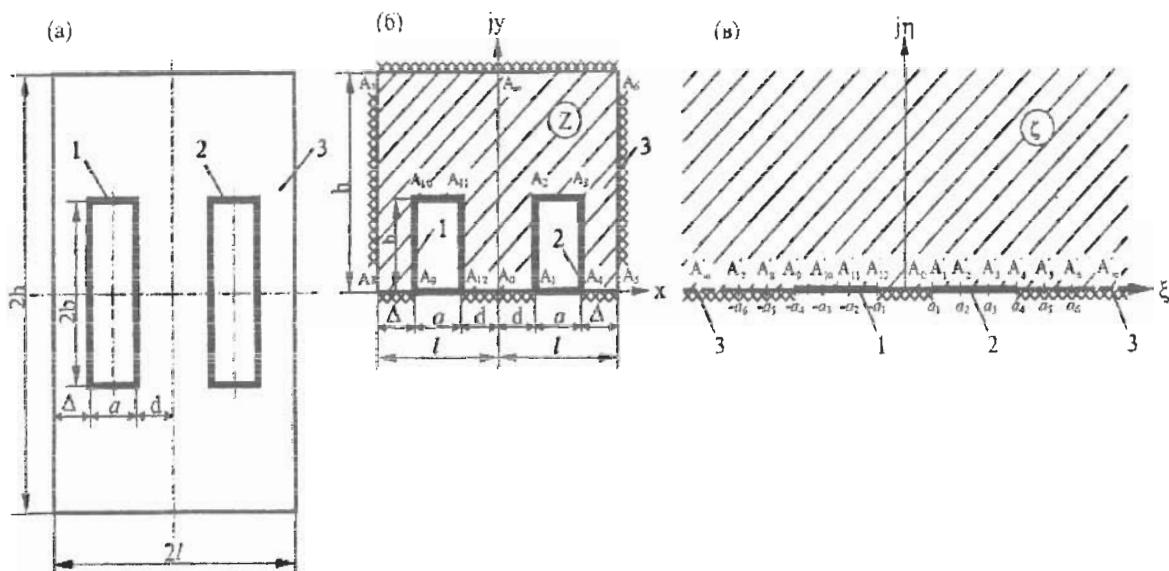
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ МЕЖДУ КОПЛАНАРНЫМИ ПЛАСТИНАМИ В ГИБКОМ КОМПОЗИЦИОННОМ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛЕ С ПРЯМОУГОЛЬНЫМ СЕЧЕНИЕМ

Т.М. ХАЛИНА

Алтайский Государственный Технический Университет,
656099, Барнаул, пр. Ленина 46, Россия

Получены аналитические зависимости и приведены результаты расчетов тепловой проводимости в широком диапазоне изменения геометрических параметров системы, которые могут быть использованы при проектировании электрообогревателей, газоанализаторов и вакуумметров.

В работе [1] произведён расчёт электрической проводимости между копланарными пластинами в гибком композиционном электрообогревателе с прямоугольным сечением при условии, что внешние края пластин совпадают с торцами резистивного материала, т.е. $\Delta=0$ (Рис.а). Однако при изготовлении электрообогревателя расстояние Δ имеет конечное значение. В [2] дано выражение для расчёта емкости системы с учётом смещения электродов для частного случая, когда толщина электродов $2b=0$. И, наконец, в работе [3] дан расчёт электрической емкости между двумя пластинами, размещёнными в электропроводной оболочке прямоугольного сечения, т.е. в оболочке, имеющей границы с бесконечно большой проводимостью, в то время как рассматриваемая система имеет внешние непроницаемые границы (рисунок, б).



Резистивный материал с электродами прямоугольного сечения:
а – исходная система электродов; б – расчётная модель; в – система в отображённой плоскости;
1 и 2 – электроды; 3 – резистивный материал

Цель статьи – строгое решение задачи для указанной системы, имеющей непроницаемые внешние границы, с учётом как толщины электродов, так и их смещения относительно друг друга.

Для расчёта электрической проводимости указанной системы воспользуемся методом конформных преобразований и непосредственного определения напряжённости поля с учётом математической аналогии между электростатическим и электрическим полями [4].

С целью упрощения расчётов введём в исходную систему (Рис.а) непроницаемую плоскость, проходящую через ось симметрии, тогда искомое значение проводимости будет равно удвоенному значению проводимости системы, представленной на Рис.б [5].

Примем заштрихованную область на Рис.б за часть плоскости комплексного переменного z и конформно отобразим на неё верхнюю полуплоскость нового комплексного переменного ζ (Рис.в) при соответствии точек исходной и отображённой плоскостей, указанных на рисунке. Такое отображение осуществляется следующей функцией, полученной с помощью интеграла Кристоффеля-Шварца [3]

$$z = A \int_0^\zeta \sqrt{\frac{(\zeta^2 - a_2^2)(\zeta^2 - a_3^2)}{(\zeta^2 - a_1^2)(\zeta^2 - a_4^2)(\zeta^2 - a_5^2)(\zeta^2 - a_6^2)}} d\zeta, \quad (1)$$

где a – постоянная величина

Уравнения, связывающие геометрические параметры в отображённой плоскости с исходными размерами, находятся путём учёта приращения функции (1), получаемой при движении текущей точки по действительной оси плоскости ζ и соответствующем обходе особых точек. Получившуюся при этом систему уравнений удобно представить в виде [3]:

$$(l - a - \Delta)/l = I_1/I_7 \quad (2)$$

$$b/l = I_2/I_7 \quad (3)$$

$$a/l = I_3/I_7 \quad (4)$$

$$h/l = I_6/I_7 \quad (5)$$

$$I_2 = I_4 \quad (6)$$

$$I_1 + I_3 + I_5 = I_7 \quad (7)$$

где

$$I_1 = \int_0^{a_1} \sqrt{\frac{(a_2^2 - \xi^2)(a_3^2 - \xi^2)}{(a_1^2 - \xi^2)(a_4^2 - \xi^2)(a_5^2 - \xi^2)(a_6^2 - \xi^2)}} d\xi \quad (8)$$

$$I_2 = \int_{a_1}^{a_2} \sqrt{\frac{(a_2^2 - \xi^2)(a_3^2 - \xi^2)}{(\xi^2 - a_1^2)(a_4^2 - \xi^2)(a_5^2 - \xi^2)(a_6^2 - \xi^2)}} d\xi \quad (9)$$

$$I_3 = \int_{a_2}^{a_3} \sqrt{\frac{(\xi^2 - a_2^2)(a_3^2 - \xi^2)}{(\xi^2 - a_1^2)(a_4^2 - \xi^2)(a_5^2 - \xi^2)(a_6^2 - \xi^2)}} d\xi \quad (10)$$

$$I_4 = \int_{a_3}^{a_4} \sqrt{\frac{(\xi^2 - a_2^2)(\xi^2 - a_3^2)}{(\xi^2 - a_1^2)(a_4^2 - \xi^2)(a_5^2 - \xi^2)(a_6^2 - \xi^2)}} d\xi \quad (11)$$

$$I_5 = \int_{a_4}^{a_5} \sqrt{\frac{(\xi^2 - a_2^2)(\xi^2 - a_3^2)}{(\xi^2 - a_1^2)(\xi^2 - a_4^2)(a_5^2 - \xi^2)(a_6^2 - \xi^2)}} d\xi \quad (12)$$

$$I_6 = \int_{a_5}^{a_6} \sqrt{\frac{(\xi^2 - a_2^2)(\xi^2 - a_3^2)}{(\xi^2 - a_1^2)(\xi^2 - a_4^2)(\xi^2 - a_5^2)(a_6^2 - \xi^2)}} d\xi \quad (13)$$

$$I_7 = \int_{a_6}^{\infty} \sqrt{\frac{(\xi^2 - a_2^2)(\xi^2 - a_3^2)}{(\xi^2 - a_1^2)(\xi^2 - a_4^2)(\xi^2 - a_5^2)(\xi^2 - a_6^2)}} d\xi \quad (14)$$

Уравнения (2) – (7) позволяют однозначно определить неизвестные координаты точек $a_1 - a_6$ в отображённой плоскости; все входящие в эти уравнения интегралы (8) – (14) являются гиперэллиптическими и в общем случае должны находиться численными методами.

Так как при конформных преобразованиях полей электрические проводимости системы электродов остаются неизменными, для полного решения поставленной задачи следует найти проводимость в системе, приведённой на Рис.в. Указанная проводимость G_{3l} (на единицу длины) между электродами 1 и 2 была найдена в [2] и с учётом нижней части системы имеет вид

$$\frac{G_{3l}}{\gamma} = \frac{K(k')}{K(k)} \quad (15)$$

где $K(k)$ и $K(k')$ – полные эллиптические интегралы первого рода с модулем $k = a_1/a_4$ и $k' = \sqrt{1 - k^2}$, определяемым из системы уравнений (2) – (7).

Рассмотрим частные случаи полученного решения.

Если $b=0$, то прямоугольные пластины 1 и 2 переходят в тонкие пластины. Тогда $a_1=a_2$, $a_3=a_4$ и согласно [3]

$$\frac{h}{l} = \frac{K_0}{K} \quad (16)$$

где K_0 и K – полные эллиптические интегралы первого рода с модулями

$$k_0 = a_5/a_6 \quad \text{и} \quad k_0' = \sqrt{1 - k_0^2} \quad (17)$$

соответственно, а

$$a_1/a_{5|b=0} = \operatorname{sn}\left(K_0 \frac{d}{l}, k_0\right) \quad (18)$$

$$a_4/a_{5|b=0} = \operatorname{sn}[K_0(d+a)/l, k_0] \quad (19)$$

На основании (18) и (19) получаем, что

$$\frac{a_1}{a_4} = \frac{\operatorname{sn}\left(K_0 \frac{d}{l}, k_0\right)}{\operatorname{sn}\left(K_0 \frac{d+a}{l}, k_0\right)} = k \quad (20)$$

Как уже отмечалось, для определения числовых значений проводимости в общем случае сначала необходимо решить систему уравнений (2) – (7) – для удобства относительно безразмерных параметров $a_1/a_6 - a_5/a_6$.

Так как интегралы, входящие в систему уравнений (2) – (7), имеют особенности, то предварительно с помощью простых замен [6]:

$$\xi = a_i \sin \theta \text{ (для сомножителей } a_i - \xi \text{) и}$$

$$\xi = a_i / \cos \theta \text{ (для сомножителей } \xi - a_i \text{)}$$

они преобразованы к виду без особенностей и имеют вид:

$$I_1 = \frac{1}{a_6} \int_0^{\arcsin \frac{a_1}{a_6}} \frac{\sqrt{\left(\frac{a_2^2}{a_6^2} \frac{1}{\sin^2 \theta} - 1\right) \left(\frac{a_3^2}{a_6^2} \frac{1}{\sin^2 \theta} - 1\right)}}{\sin \theta \sqrt{\left(\frac{a_1^2}{a_6^2} \frac{1}{\sin^2 \theta} - 1\right) \left(\frac{a_4^2}{a_6^2} \frac{1}{\sin^2 \theta} - 1\right) \left(\frac{a_5^2}{a_6^2} \frac{1}{\sin^2 \theta} - 1\right)}} d\theta \quad (21)$$

$$I_2 = \frac{1}{a_1} \int_0^{\arccos \frac{a_1}{a_2}} \frac{\sqrt{\left(\frac{a_2^2}{a_1^2} \cos^2 \theta - 1\right) \left(\frac{a_3^2}{a_1^2} \cos^2 \theta - 1\right)}}{\sqrt{\left(\frac{a_4^2}{a_1^2} \cos^2 \theta - 1\right) \left(\frac{a_5^2}{a_1^2} \cos^2 \theta - 1\right) \left(\frac{a_6^2}{a_1^2} \cos^2 \theta - 1\right)}} d\theta \quad (22)$$

$$I_3 = \frac{1}{a_6} \int_{\frac{a_2}{a_6}}^{\frac{a_3}{a_6}} \frac{\sqrt{\left(\theta^2 - \frac{a_2^2}{a_6^2}\right) \left(\frac{a_3^2}{a_6^2} - \theta^2\right)}}{\sqrt{\left(\theta^2 - \frac{a_1^2}{a_6^2}\right) \left(\frac{a_4^2}{a_6^2} - \theta^2\right) \left(\frac{a_5^2}{a_6^2} - \theta^2\right) \left(1 - \theta^2\right)}} d\theta \quad (23)$$

$$I_4 = \frac{1}{a_5} \int_{\arcsin \frac{a_4}{a_6} \sin \theta}^{\frac{a_4}{a_6}} \frac{\sqrt{\left(1 - \frac{a_2^2}{a_6^2} \frac{1}{\sin^2 \theta}\right) \left(1 - \frac{a_3^2}{a_6^2} \frac{1}{\sin^2 \theta}\right)}}{\sqrt{\left(1 - \frac{a_1^2}{a_6^2} \frac{1}{\sin^2 \theta}\right) \left(\frac{a_4^2}{a_6^2} \frac{1}{\sin^2 \theta} - 1\right) \left(\frac{a_5^2}{a_6^2} \frac{1}{\sin^2 \theta} - 1\right)}} d\theta \quad (24)$$

$$I_5 = \frac{1}{a_4} \int_0^{\arccos \frac{2a_4}{a_5+a_4}} \frac{\sqrt{\left(1 - \frac{a_2^2}{a_4^2} \cos^2 \theta\right) \left(1 - \frac{a_3^2}{a_4^2} \cos^2 \theta\right)} d\theta}{\sqrt{\left(1 - \frac{a_1^2}{a_4^2} \cos^2 \theta\right) \left(\frac{a_5^2}{a_4^2} \cos^2 \theta - 1\right) \left(\frac{a_6^2}{a_4^2} \cos^2 \theta - 1\right)}} + \\ + \frac{1}{a_5} \int_{\arcsin \frac{a_4+a_5}{2a_5}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sqrt{\left(\sin^2 \theta - \frac{a_2^2}{a_5^2}\right) \left(\sin^2 \theta - \frac{a_3^2}{a_5^2}\right)} d\theta}{\sqrt{\left(\sin^2 \theta - \frac{a_1^2}{a_5^2}\right) \left(\sin^2 \theta - \frac{a_4^2}{a_5^2}\right) \left(\frac{a_6^2}{a_5^2} - \sin^2 \theta\right)}} \quad (25)$$

$$I_6 = \frac{1}{a_5} \int_0^{\arccos \frac{2a_5}{a_5+a_6}} \frac{\sqrt{\left(1 - \frac{a_2^2}{a_5^2} \cos^2 \theta\right) \left(1 - \frac{a_3^2}{a_5^2} \cos^2 \theta\right)} d\theta}{\sqrt{\left(1 - \frac{a_1^2}{a_5^2} \cos^2 \theta\right) \left(1 - \frac{a_4^2}{a_5^2} \cos^2 \theta\right) \left(\frac{a_6^2}{a_5^2} \cos^2 \theta - 1\right)}} + \\ + \frac{1}{a_6} \int_{\arcsin \frac{a_6+a_5}{2a_6}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sqrt{\left(\sin^2 \theta - \frac{a_2^2}{a_6^2}\right) \left(\sin^2 \theta - \frac{a_3^2}{a_6^2}\right)} d\theta}{\sqrt{\left(\sin^2 \theta - \frac{a_1^2}{a_6^2}\right) \left(\sin^2 \theta - \frac{a_4^2}{a_6^2}\right) \left(\sin^2 \theta - \frac{a_5^2}{a_6^2}\right)}} \quad (26)$$

$$I_7 = \frac{1}{a_6} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{\sqrt{\left(1 - \frac{a_2^2}{a_6^2} \cos^2 \theta\right) \left(1 - \frac{a_3^2}{a_6^2} \cos^2 \theta\right)} d\theta}{\sqrt{\left(\frac{a_4^2}{a_6^2} \cos^2 \theta - 1\right) \left(\frac{a_5^2}{a_6^2} \cos^2 \theta - 1\right) \left(1 - \frac{a_1^2}{a_6^2} \cos^2 \theta\right)}} \quad (27)$$

Система нелинейных трансцендентных уравнений (2) – (7) решалась численно с помощью методики, описанной в [3]. Контрольные значения коэффициентов a_1/a_6 - a_5/a_6 , при которых количество итераций при решении системы (2) – (7) наибольшее, представлены в приложении, а результаты расчётов безразмерной проводимости G_3/γ для практических конструкций электрообогревателей приведены в Таблице1.

Как следует из данных Таблицы1, с повышением отношений a/h , Δ/h и b/a при $I/h=\text{const}$ значения безразмерной проводимости G_3/γ увеличивается, а с повышением отношения I/h при постоянных значениях a/h , Δ/h и b/a величина G_3/γ уменьшается, как и должно быть.

По данным Таблицы1 в Таблице2 рассчитаны для наиболее практических случаев значения относительных изменений δ величины $G_{\gamma l}/\gamma$, связанных с перемещением электродов, причём

$$\delta = \frac{G_{\gamma l}/\gamma - G_{\gamma l}/\gamma|_{\Delta/h=0}}{G_{\gamma l}/\gamma|_{\Delta/h=0}} \cdot 100\% \quad (28)$$

Как следует из данных Таблицы2, при $2b/a=0$; $l/h=a/h=\text{const}$ повышение отношения Δ/h приводит к приблизительно линейному увеличению значения δ , т.е. не представляется возможным выбрать экстремальные значения Δ/h , в которых значение δ сохраняется постоянным и, следовательно, для упрощения расчётных соотношений и повышения технологичности конструкции электрообогревателя следует выбрать $\Delta/h=0$, т.е. совмещать наружные края электродов 1 и 2 с торцами резистивного материала.

Когда $2b/a=0$; $\Delta/h \leq 0,2$ (что обычно выполняется в практических конструкциях электрообогревателей) и отношение $0,6 \leq a/h \leq 1,0$, увеличение отношения l/h приводит к уменьшению значения δ и при $l/h \geq 5$ $\delta \leq 5,1\%$, причём при указанных условиях повышение отношения a/h приводит к несущественному изменению δ (от 5,1 до 4,9%). Поэтому с целью экономии материалов электродов при проектировании электрообогревателей с параметрами $2b/a \approx 0$; $\Delta/h \leq 0,2$; $l/h \geq 5$ следует выбирать отношение $a/h \approx 0,6$. И, наконец, повышение отношения $2b/a$ от 0 до 0,1 приводит к несущественному (не более, чем на 0,1%) изменению значения δ , поэтому при указанных пределах отношений $2b/a$ можно приближённо пользоваться более простыми соотношениями, полученными при $2b/a=0$ и выводами, полученными выше.

Таблица 1

2b/a	Δ/h	l/h	$G_{\gamma l}/\gamma$ при a/h , равном				
			0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
0.0	0.0	1	0.580117	0.800336	1.070099	1.513933	∞
		2	0.366748	0.443561	0.513851	0.589974	0.680634
		3	0.268336	0.307268	0.339431	0.371051	0.404958
		4	0.211565	0.235046	0.253414	0.270633	0.288235
		5	0.174621	0.190313	0.202179	0.212990	0.223744
	0.2	1	0.751517	1.039454	1.489588	∞	∞
		2	0.428012	0.506394	0.585586	0.677781	0.794478
		3	0.299725	0.336160	0.369310	0.403945	0.442621
		4	0.230606	0.251587	0.269705	0.287721	0.306817
		5	0.187393	0.201014	0.212416	0.223435	0.234782
0.0	0.4	1	0.924969	1.404678	∞	∞	∞
		2	0.476643	0.569725	0.667812	0.767628	0.948389
		3	0.322785	0.362936	0.400380	0.440479	0.486276
		4	0.244019	0.266290	0.285908	0.305787	0.327177
		5	0.196154	0.210291	0.222339	0.234178	0.246521
	0.6	1	1.208956	∞	∞	∞	∞
		2	0.529714	0.645274	0.772733	0.937573	1.178705
		3	0.346271	0.392160	0.435767	0.483384	0.538899
		4	0.257207	0.281692	0.303508	0.325865	0.350183
		5	0.204586	0.219781	0.232839	0.245775	0.259360
		1	0.610248	0.841904	1.125678	1.592564	∞

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ МЕЖДУ КОПЛАНАРНЫМИ ПЛАСТИНАМИ В ГИБКОМ КОМПОЗИЦИОННОМ
ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛЕ С ПРЯМОУГОЛЬНЫМ СЕЧЕНИЕМ

0.05	0.0	2	0.376272	0.455080	0.527195	0.605295	0.698310
		3	0.272981	0.312587	0.345307	0.377475	0.411969
		4	0.214312	0.238098	0.256705	0.274147	0.291977
		5	0.176435	0.192290	0.204279	0.215203	0.226068
		1	0.791330	1.094521	1.568502	∞	∞
	0.2	2	0.439350	0.519808	0.601097	0.695735	0.815523
		3	0.305018	0.342097	0.375832	0.411078	0.450437
		4	0.233661	0.254919	0.273277	0.291532	0.310881
		5	0.189378	0.203144	0.214666	0.225802	0.237270
		1	0.974932	1.480553	∞	∞	∞
0.10	0.4	2	0.489517	0.585112	0.685848	0.808900	0.974003
		3	0.328597	0.369471	0.407589	0.448410	0.495032
		4	0.247315	0.269886	0.289769	0.309916	0.331595
		5	0.198273	0.212563	0.224741	0.236708	0.249184
		1	1.275515	∞	∞	∞	∞
	0.6	2	0.544296	0.663037	0.794004	0.963382	1.211152
		3	0.352625	0.399357	0.443764	0.492254	0.548788
		4	0.260748	0.285569	0.307685	0.330350	0.355003
		5	0.206839	0.222201	0.235403	0.248482	0.262215

Продолжение Таблицы 1.

2b/a	Δ/h	l/h	G_3/γ при a/h , равном				
			0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
0.10	0.0	1	0.633978	0.874643	1.169452	1.654494	∞
		2	0.383773	0.464152	0.537705	0.617362	0.712231
		3	0.276640	0.316777	0.349935	0.382534	0.417490
		4	0.216476	0.240501	0.259296	0.276914	0.294925
		5	0.177864	0.193847	0.205933	0.216945	0.227899
	0.2	1	0.822686	1.137892	1.630654	∞	∞
		2	0.448279	0.530372	0.613314	0.709875	0.832097
		3	0.309186	0.346772	0.380968	0.416697	0.456593
		4	0.236066	0.257543	0.276091	0.294533	0.314081
		5	0.190942	0.204822	0.216439	0.227666	0.239229
	0.4	1	1.014283	1.540312	∞	∞	∞
		2	0.499655	0.597231	0.700053	0.825654	0.994176
		3	0.333174	0.374618	0.413266	0.454657	0.501927
		4	0.249910	0.272718	0.292810	0.313168	0.335075
		5	0.199942	0.214353	0.226633	0.238700	0.251282
	0.6	1	1.327936	∞	∞	∞	∞
		2	0.555780	0.677027	0.810758	0.983709	1.236707
		3	0.357630	0.405025	0.450062	0.499241	0.556577
		4	0.263536	0.288623	0.310975	0.333883	0.358799
		5	0.208613	0.224107	0.237422	0.250613	0.264465

Таблица 2.

2b/a	Δ/h	l/h	$\delta, \%$ при a/h , равном				
			0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
0.2	0.2	3	11.7	9.4	8.8	8.9	9.3
		4	9.0	7.0	6.4	6.3	6.4
		5	7.3	5.6	5.1	4.9	4.9
		3	20.3	18.1	18.0	18.7	20.1

0.0	0.4	4	15.3	13.3	12.8	13.0	13.5
		5	12.3	10.5	10.0	9.9	10.2
		3	29.0	27.6	28.4	30.3	33.1
		4	21.6	19.8	19.8	20.4	21.5
		5	17.2	15.5	15.2	15.4	15.9
	0.2	3	11.7	9.4	8.8	8.9	9.3
		4	9.0	7.0	6.4	6.3	6.4
		5	7.3	5.6	5.1	4.9	4.9
		3	20.3	18.1	18.0	18.7	20.1
		4	15.3	13.3	12.8	13.0	13.5
	0.05	5	12.3	10.5	10.0	9.9	10.2
		3	29.0	27.6	28.4	30.3	33.1
		4	21.6	19.8	19.8	20.4	21.5
		5	17.2	15.5	15.2	15.4	15.9
		3	11.8	9.5	8.9	8.9	9.4
0.10	0.2	4	9.0	7.1	6.5	6.4	6.5
		5	7.4	5.7	5.1	4.9	5.0
		3	20.4	18.3	18.1	18.9	20.2
		4	15.4	13.4	12.9	13.1	13.6
		5	12.4	10.6	10.1	10.0	10.3
	0.4	3	29.3	27.9	28.6	30.5	33.3
		4	21.7	20.0	19.9	20.6	21.7
		5	17.3	15.6	15.3	15.5	16.0
		3	11.8	9.5	8.9	8.9	9.4
		4	9.0	7.1	6.5	6.4	6.5

Приложение. Значение параметров отображения $a_1/a_6 - a_5/a_6$, рассчитанные по формулам (2)-(7) и (21)-(27)

Продолжение Таблицы2.

a_i/a_6	a/l	a_j/a_6 при $b/l=1$, $b/l=0.1$ и d/l , равном							
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
a_1/a_6	0,001	0,040147	0,150538	0,268201	0,377499	0,472632	0,551303	0,613234	0,659252
	0,010	0,038239	0,147159	0,264631	0,374278	0,469998	0,549333	0,611918	0,658527
	0,100	0,032879	0,136259	0,252680	0,363519	0,461450	0,543322	0,608346	0,656994
a_2/a_6	0,001	0,146797	0,262725	0,371803	0,467555	0,547180	0,610181	0,657325	0,689865
	0,010	0,132836	0,248520	0,358885	0,456607	0,538439	0,603626	0,652804	0,687176
	0,100	0,109960	0,223231	0,335286	0,436696	0,523001	0,592728	0,646100	0,684033
a_3/a_6	0,001	0,165866	0,281293	0,388400	0,481601	0,558513	0,618886	0,663606	0,693958
	0,010	0,195229	0,309167	0,413019	0,502347	0,575282	0,631867	0,673127	0,700356
	0,100	0,344979	0,445419	0,530044	0,589494	0,651061	0,688835	0,713144	0,724906
a_4/a_6	0,001	0,275044	0,382862	0,476657	0,554464	0,615840	0,661584	0,692991	0,711360
	0,010	0,292395	0,398443	0,489917	0,565308	0,624379	0,668020	0,697547	0,714241
	0,100	0,418586	0,508593	0,581558	0,638441	0,680260	0,708344	0,724009	0,728505
a_5/a_6	0,001	0,718361	0,719066	0,719240	0,719297	0,719312	0,719297	0,719239	0,719063
	0,010	0,719734	0,720840	0,720747	0,720816	0,720833	0,720812	0,720735	0,720502
	0,100	0,728853	0,730084	0,730458	0,730381	0,730581	0,730458	0,730084	0,728853

1. М.В Халин, Изв. ВУЗов. Строительство, №12 (1996) 127.
2. М.В.Халин, Машиностроение и приборостроение. Труды АлтГТУ - Барнаул: АлтГТУ, №5 (1995) 256.
3. М.Г.Струнский, М.М. Горбов, Изв. РАН. Энергетика, №1 (1994) 82.
4. В.В.Евстигнеев, М.В.Халин, Низкотемпературные композиционные электрообогреватели.- Новосибирск: Ин-т теплофизики СО РАН, (1996) 47, (Препринт №280-96).

5. Ю.А.Иоссель, Э.С.Кочанов, М.Г.Струнский, *Расчет электрической емкости*,
Л.: Энергия, (1981) 280.
6. Г.Б. Двайт, *Таблицы интегралов и другие математические формулы*. *М.*:
Наука, (1978) 244.

DÜZBUCAQLI EN KESİYİNƏ MALİK OLAN ELASTİK KOMPOZİSYALI ELEKTRİK
QIZDIRICISININ KOPLANAR LÖVHƏLƏRİ ARASINDA ELEKTRİK KEÇİRİCİLİYİ

T.M.XALINA

Elektrik qızdırıcıları, qazanalizatorları **ve** vakuummetrlər layihələndirilərkən tətbiq oluna bilən, parametrləri geniş intervalda dəyişən, sistemin istilik keçiriciliyinin hesablanması üçün analitik ifadələr alınıb **ve** hesabatların nəticələri verilib.

ELECTRICAL CONDUCTIVITY BETWEEN
THE CO-PLANAR PLATES OF FLEXIBLE COMPOSITE ELECTRIC
HEATER OF RECTANGULAR CROSS SECTION

T.M.KHALINA

Analytical dependences and results of calculation the thermal conductivity in a wide range of system's geometrical parameters changing are presented. These results can be used for developing of electric heater, gase analyzer and vacuummeter.