

ovoshchnykh i bakhchevykh kul'tur: rukovodstvo. – М., 2010. – С. 11-14, 77.

6. Egorov Yu.V., Galitskiy V.I. Upravlenie sistemoy poliva v teplitsakh s ispol'zovaniem konduktometricheskogo metoda izmereniya vlazhnosti i datchikov iz grafitovogo volokna // Sb. nauchnykh trudov po ovoshchevodstvu i bakhchevodstvu. – М., 2011. – С. 315-318.

7. Dubovskiy N.V. Izuchenie metodov diagnostiki srokov poliva tsvetnoy kapusty v usloviyakh moskvoretskoy poymy // Sb. statey molodykh uchenykh i aspirantov. NIIOKh. – М., 1979. – С. 95-99.

8. Drevs M., Khol'ts I. Upravlenie vodnym rezhimom ovoshchnykh kul'tur v teplitsakh. – М.: Kolos, 1981. – С. 11.

9. Shou B. Fizicheskie usloviya pochvy i rasteniya. – М.: Inostrannaya literatura, 1955. – С. 114-122, 120, 126.

10. Sudnitsyn I.I., Sidorova M.A., Vasil'eva M.I., Egorov Yu.V., Peshke G., Kryuger V. Vliyanie davleniya pochvennoy vlagi na

urozhay rasteniy // Biologicheskie nauki. – 1982. – № 7. – С. 33-39.

11. Sudnitsyn I.I., Sidorova M.A., Vasil'eva M.I., Egorov Yu.V. Optimizatsiya vodnogo rezhima pochv // Nauchnye doklady vysshey shkoly. Ser. Biologicheskie nauki. – 1977. – № 11. – С. 127-138.

12. Sletcher R. Vodnyy rezhim rasteniy. – М.: Mir, 1970. – С. 126-128.

13. Bashilov S.M. i dr. Emkostnyy datchik vlazhnosti. Avt. svidetel'stvo № 2167414 MKL G01N 27/22. Byull. izobreteniy № 14, 2001 g.

14. Egorov Yu.V., Kirichenko A.V., Bobkov A.V., Galitskiy V.I. Ispol'zovanie diel'kometrii na srednikh chastotakh dlya usrednennoy otsenki vlazhnosti pochvy // Pochvovedenie. – 2010. – № 2. – С. 206-211.

15. Egorov Yu.V., Sudnitsyn I.I., Galitskiy V.I. Sposob i ustroystvo dlya avtomaticheskogo upravleniya polivom rasteniy v teplitse // Gavrish. – 2004. – № 3. – С. 23.



УДК 621.3.066.6 **О.Г. Бельчикова, А.А. Болтенков, Е.А. Сарсенбаев, В.П. Шерышев**  
**O.G. Belchikova, A.A. Boltenkov, Ye.A. Sarsenbayev, V.P. Sheryshev**

**ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ  
 КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТАКТА**

**TRANSFER FUNCTION OF SMART SENSOR OF ELECTRICAL CONTACT SURFACE TEMPERATURE**

**Ключевые слова:** микропроцессорный датчик, передаточная функция, температура контактной поверхности, электрический контакт, электрооборудование технологических комплексов.

**Keywords:** smart sensor, transfer function, contact surface temperature, electrical contact, electrical equipment for technological complexes.

Электроэнергетические объекты, например трансформаторные подстанции, оснащаются большим количеством контактных соединений, которые в процессе эксплуатации подвергаются существенным физико-химическим воздействиям, что постепенно приближает их к выходу из строя. Образование окисных плёнок и ослабление затяжки болтовых соединений могут привести к такому росту контактного сопротивления, при котором растёт тепловая энергия, приводящая к свариванию контакт-деталей электрического контакта, что обуславливает необходимость непрерывного отслеживания его теплового состояния. Для обеспечения мониторинга теплового состояния элементов электрического контакта при реакции на воздействие импульса тока необходимо иметь в распоряжении быстродействующий датчик температуры, позволяющий осуществить прогнозирование перегрева по результатам температурных измерений на ранней стадии воздействия резко переменной нагрузки. Похожая проблема мониторинга температуры возникает в электроконтактных технологиях при ремонте сельскохозяйственной техники. Путём отдельного исследования нагрева симметричной контактной системы объёмными и поверхностными источниками теплоты получена передаточная функция микропроцессорного датчика для косвенного измерения температуры контактной поверхности плоских

электродов и контакт-деталей и определения времени срабатывания защиты коммутационных аппаратов от перегрева.

Electric power facilities as transformer substations are equipped with a large number of contact connections which during operation are subject to significant physical and chemical effects that gradually bring them closer to failure. The formation of oxide films and loosening screw connections can lead to such an increase in the contact resistance when thermal energy increases causing welding of electrical contact parts; this necessitates continuous monitoring of its thermal state. To monitor the thermal state of electrical contact elements in the reaction to impact of current pulse, it is necessary to have a fast-response temperature sensor enabling to carry out forecasting of overheating as a result of temperature measurements at the early stage of the impact of sharply variable load. A similar temperature monitoring problem arises in electrical contact technology when repairing agricultural machinery. By separate studies of symmetrical heating contact system by surface and volumetric heat sources, we obtained the transfer function of smart sensor for indirect contact surface temperature measurement of flat electrodes and contact details and for the definition of the operating time of the protection of switching devices against overheating.

**Бельчикова Ольга Геннадьевна**, к.т.н., доцент, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-87. E-mail: Belchikova@yahoo.com.

**Болтенков Андрей Анатольевич**, к.т.н., доцент, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 38-34-07. E-mail: Boltenkov\_A@mail.ru.

**Сарсенбаев Ерлан Алиаскарович**, докторант, Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан. E-mail: erlansar@mail.ru.

**Шерышев Валерий Павлович**, д.т.н., Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан. E-mail: vps5@rambler.ru.

**Belchikova Olga Gennadyevna**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-87. E-mail: Belchikova@yahoo.com.

**Boltenkov Andrey Anatolyevich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 38-34-07. E-mail: Boltenkov\_A@mail.ru.

**Sarsenbayev Yerlan Aliaskarovich**, Doctoral degree applicant, Kazakh National Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Republic of Kazakhstan. E-mail: erlansar@mail.ru.

**Sheryshev Valeriy Pavlovich**, Dr. Tech. Sci., Chief Staff Scientist, Kazakh National Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Republic of Kazakhstan. E-mail: vps5@rambler.ru.

### Введение

Определение температуры недоступной для прямых измерений контактной поверхности электрического контакта, например контактных соединений (КС) коммутационных аппаратов, не только может быть положено в основу построения тренда качества КС электрооборудования технологических комплексов (ЭТК) [1] при воздействии прямоугольного импульса тока и определения времени срабатывания защиты кон-

тактных соединений ЭТК от сваривания контакт-деталей, но и эффективно использовано при решении задач восстановления рабочих органов сельскохозяйственных машин электроконтактным напеканием износостойких покрытий и электроконтактным деформированием режущей кромки [2-4]. Во всех этих случаях речь идёт о косвенном измерении монотонно возрастающей температуры контактной поверхности с помощью реализации на микроконтролле-

ре передаточной функции интеллектуального датчика температуры.

Одна из проблем микропроцессорной обработки монотонно изменяющейся информации об измеряемой температуре состоит в том, что она содержит, как правило, как аддитивную, так и мультипликативную составляющую погрешности измерений [5].

В работе [6] предложен подход к построению передаточной функции интеллектуального датчика температуры контактной поверхности при нагреве электрического контакта только под воздействием теплоты, выделенной на переходном контактном сопротивлении. Исследование посвящено построению передаточной функции интеллектуального датчика температуры контактной поверхности с учётом прямого электронагрева электродов (шин КС) с использованием для компенсации погрешности измерений мультипликативного и аддитивного калибровочных коэффициентов.

**Математическая модель процесса электроконтактного нагрева.** Следуя подходу, представленному в работе [4], выделим в контактном соединении тонкий составной стержень (рис. 1 а) из материалов контакт-деталей, подверженный нагреву теплотой, выделенной на переходном контактном сопротивлении (область 3,

рис. 1 б) под действием тока  $I$  и усилия нажатия  $F$ .

Поскольку выделенный составной тонкий стержень окружён большим количеством идентичных стержней, имеющих распределение температур по длине, практически совпадающее с распределением температур внутри выделенного стержня, теплоотводом с его боковой поверхности можно пренебречь, т.е. тепловой процесс можно считать одномерным, протекающим вдоль оси стержня.

Рассматривается симметричный относительно плоскости касания электроконтактный нагрев. Симметричная контактная система образована контакт-детальями 1 и 2 (рис. 1 б), к которым приложено усилие нажатия  $F$ . При прохождении тока на контактной поверхности электрического контакта 3 выделяется тепловая мощность, генерирующая поверхностную плотность теплового потока  $q_1$ .

В силу симметрии рассматриваемого теплового процесса можно ограничиться рассмотрением только одного из элементов контактной системы, например, элементом 2 (рис. 1 б).

На начальном этапе исследований введём в рассмотрение физические факторы [7, 8]:  $w$  – объёмные тепловые источники и  $q_1$  – удельная мощность, выделенная на переходном контактном сопротивлении.

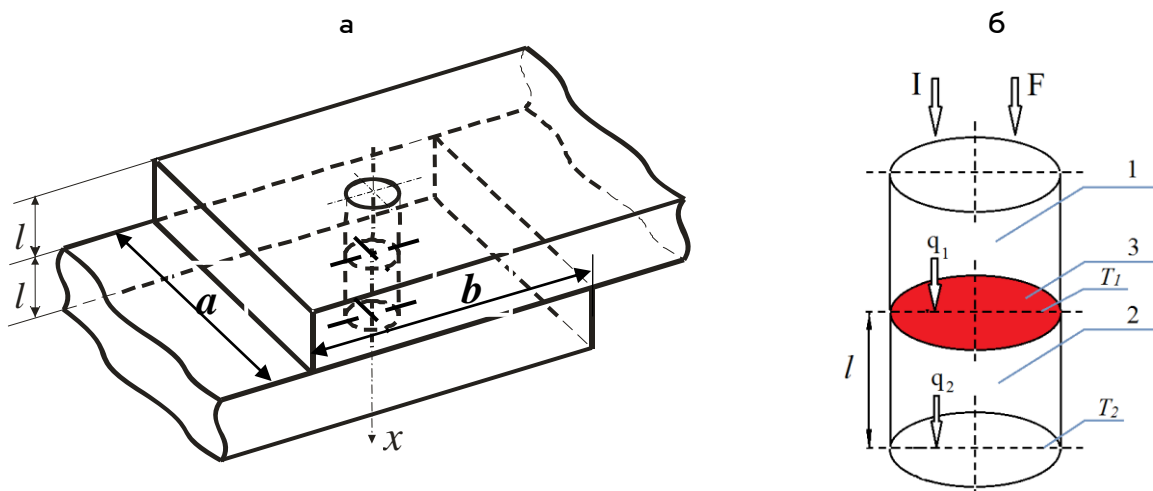


Рис. 1. Схема теплового процесса в электроконтактной системе:  
 а – электрическое контактное соединение;  
 б – физическая модель контактного соединения;  
 1, 2 – контактные элементы; 3 – область контактного тепловыделения

Будем считать, что объёмные тепловые источники  $w$  постоянны (от времени не зависят) и распределены равномерно по всему элементу (т.е. от пространственных координат также не зависят), зависят только от сопротивления материала контакт-детали при средней температуре процесса нагрева  $\frac{T_1(0)+T_{\max}}{2}$  и величины протекающего по шине тока, как от параметра, и определяются по формуле:

$$w = \frac{I^2 \rho_{20} \left( 1 + \alpha \frac{T_1(0) + T_{\max}}{2} \right)}{S_1^2}, \quad (1)$$

где  $T_1(0)$  – начальное значение температуры контактной поверхности;

$I$  – ток;

$\rho_{20}$  – удельное электрическое сопротивление материала контакт-детали при температуре 20°C;

$\alpha$  – температурный коэффициент удельного сопротивления;

$S_1 = a \cdot l$  – площадь поперечного сечения контакт-детали (рис. 1 а);

$T_{\max}$  – максимально допустимая температура контактной поверхности;

Если предположить, что тепловая мощность, выделенная на переходном сопротивлении  $R_k$ , также постоянна во времени, равномерно распределена по площади нахлестки  $S_2 = a \times b$  (рис. 1 а) и зависит как от параметров от  $R_k$  и от тока  $I$ , то плотность теплового потока  $q_1$  может быть вычислена по формуле:

$$q_1 = \frac{I^2 R_k}{2S_2}. \quad (2)$$

При заданных величинах физических факторов  $w$  и  $q_1$  температура  $T(x,t)$  контактного элемента является решением задачи:

$$\left. \begin{aligned} c\gamma \frac{\partial T}{\partial t} &= \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + w, \quad 0 < x < l, \quad t > 0 \\ -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} &= q_1, \quad x = 0, \quad t > 0 \\ T(l, t) &= \hat{T}_2(t), \quad x = l, \quad t > 0 \\ T &= T_0, \quad 0 \leq x \leq l, \quad t = 0 \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

Задача (3) представляет собой математическую модель процесса нагрева КС под действием двух тепловых источников (физических факторов): объёмного  $w$  и поверхностного  $q_1$ .

**Расщепление математической модели по физическим факторам.** Введём обозначения:  $T_w(x,t)$  – температура, сформированная в контактном элементе под воздействием объёмных тепловых источников  $w$ ;  $T_q(x,t)$  – температура, сформированная воздействием поверхностных тепловых источников  $q_1$ .

Тогда:

$$\left. \begin{aligned} T(x,t) &= T_w(x,t) + T_q(x,t) \\ \hat{T}_1(t) &= \hat{T}_{w,1}(t) + \hat{T}_{q,1}(t) \\ \hat{T}_2(t) &= \hat{T}_{w,2}(t) + \hat{T}_{q,2}(t) \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

(обозначение  $-\hat{T}$  читается как «измеренная температура»), и задача (3) распадается на две подзадачи:

$$\left. \begin{aligned} c\gamma \frac{\partial T_w}{\partial t} &= \lambda \frac{\partial^2 T_w}{\partial x^2} + w, \quad 0 < x < l, \quad t > 0 \\ \frac{\partial T_w}{\partial x} &= 0, \quad x = 0, \quad t > 0 \\ T_w = \hat{T}_{w,1} &= 0, \quad x = l, \quad t > 0 \\ T_w &= 0, \quad 0 \leq x \leq l, \quad t = 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

и

$$\left. \begin{aligned} c\gamma \frac{\partial T_q}{\partial t} &= \lambda \frac{\partial^2 T_q}{\partial x^2}, \quad 0 < x < l, \quad t > 0 \\ -\lambda \frac{\partial T_q}{\partial x} &= q_1, \quad x = 0, \quad t > 0 \\ T(l, t) &= \hat{T}_{q,2}(t) = \hat{T}_2(t), \quad x = l, \quad t > 0 \\ T &= T_0, \quad 0 \leq x \leq l, \quad t = 0 \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

Задача (6) используется для установления функциональной зависимости между измеренной температурой открытой поверхности контакт-детали  $T_2(t)$  и температурой контактной поверхности  $T_1(t)$ , недоступной для прямых измерений, т.е. для построения передаточной функции датчика температуры контактной поверхности, с помощью которой осуществляется косвенное измерение температуры контактной поверхности.

**Передаточная функция, полученная без учёта теплоты, выделенной в теле контакт-детали.** Решением задачи (6) является температурное поле второй контакт-детали симметричного контактного соединения (рис. 1 б)  $T_q(x, t)$ :  $l$  – толщина контакт-детали;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала детали,  $c$  – удельная теплоёмкость,  $\gamma$  – плотность;  $\hat{T}_2(t)$  – измеренная температура доступной для прямых измерений открытой поверхности контакт-детали;  $T_0$  – начальная температура.

Переходя к безразмерным переменным  $\xi, \tau$  и  $\mathcal{G}_q(\xi, \tau)$ , получаем:

$$\xi = \frac{x}{l}; \tau = \frac{\lambda t}{cl^2};$$

$$\mathcal{G}_q(\xi, \tau) = [T_q(x, t) - T_0] / [q_1 l / \lambda] \quad (7)$$

Рассмотрим соответствующую задаче (6) безразмерную модельную задачу теплопроводности, описывающую процесс нагрева модельного стержня (контактного элемента 2) под воздействием поверхностных тепловых источников  $q_1$  (рис. 1 б) при отсутствии теплообмена с окружающей средой:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{G}_q}{\partial \tau} &= \frac{\partial^2 \mathcal{G}_q}{\partial \xi^2}, 0 < \xi < 1, \tau > 0 \\ -\frac{\partial \mathcal{G}_q}{\partial \xi} &= 1, \xi = 0, \tau > 0 \\ -\frac{\partial \mathcal{G}_q}{\partial \xi} &= 0, \xi = 1, \tau > 0 \\ \mathcal{G}_q(\xi, 0) &= 0, 0 \leq \xi \leq 1, \tau = 0 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Решение задачи (8) для больших времён ( $\tau > 0,5$ ) на открытой поверхности контактного элемента ( $\xi = 1$ ) и на контактной поверхности ( $\xi = 0$ ) даётся формулами [9]:

$$\mathcal{G}_q(1, \tau) = \tau - \frac{1}{6}; \quad (9)$$

$$\mathcal{G}_q(0, \tau) = \tau + \frac{1}{3}. \quad (10)$$

Формула (7), определяющая безразмерную температуру  $\mathcal{G}_q(\xi, \tau)$ , справедлива как для открытой поверхности контакт-детали  $\xi = 1(x = l)$ , так и для контактной поверхности  $\xi = 0(x = 0)$ :

$$\mathcal{G}_q(1, \tau) = [T_q(l, t) - T_0] / [q_1 l / \lambda]; \quad (11)$$

$$\mathcal{G}_q(0, \tau) = [T_q(0, t) - T_0] / [q_1 l / \lambda]. \quad (12)$$

Подставляя в (11) измеренную на открытой поверхности контактного элемента температуру  $\hat{T}_2(t^{(k)})$  ( $k$  – порядковый номер измерения) и её безразмерный эквивалент  $\theta_2(\tau^{(k)}) = \mathcal{G}_q(1, \tau^{(k)})$ , получаем формулу для вычисления значений динамического параметра  $q_1(t^{(k)})$ , имеющего размерность удельной мощности, Вт/м<sup>2</sup>:

$$q_1(t^{(k)}) = [\hat{T}_2(t^{(k)}) - T_0] / [\theta_2(\tau^{(k)}) l / \lambda],$$

и, после подстановки (9), для больших времён  $\tau > 0,5$ :

$$q_1(t^{(k)}) = \frac{\lambda}{l} \frac{\hat{T}_2(t^{(k)}) - T_0}{\tau^{(k)} - 1/6}. \quad (13)$$

Из уравнения (12) с учётом уравнения (10) получаем формулу для определения температуры нагрева контактной поверхности  $T_q(0, t)$ , вызванного нагревом контакт-детали только за счёт теплоты, выделенной на переходном контактном сопротивлении, которая, согласно обозначениям (4) и граничному условию при  $x = l$  в задаче (5), равна  $\hat{T}_{q,1}(t^{(k)})$ :

$$\begin{aligned} \hat{T}_{q,1}(t^{(k)}) &= \Phi(t^{(k)}) (\hat{T}_{q,2}(t^{(k)}) - T_0) + T_0 = \\ &= \Phi(t^{(k)}) \hat{T}_{q,2}(t^{(k)}) + [1 - \Phi(t^{(k)})] T_0 \end{aligned} \quad (14)$$

где  $\Phi(t^{(k)})$  – динамический параметр, который вычисляется по формуле:

$$\Phi(t^{(k)}) = \frac{1}{1 - \frac{1}{2 \left( \frac{\lambda}{cl^2} t^{(k)} + 1/3 \right)}}. \quad (15)$$

Формула (14) устанавливает функциональную зависимость температуры контактной поверхности симметричного контактного соединения двух прямоугольных шин  $\hat{T}_{q,1}$  от измеренной температуры открытой поверхности контакт-детали  $\hat{T}_{q,2}$ .

По существу, это передаточная функция интеллектуального датчика температуры контактной поверхности КС, которая может быть использована на практике при условии значительного превосходства влияния, которое оказывает на нагрев тепловыделение на контактном сопротивлении (удельная мощность  $q_1$ ), по сравнению с влиянием нагрева за счёт теплоты, выделенной непосредственно в электроде или токоведущей шине  $w$ . Выполнение этого условия в большей степени характерно для электротехнологий восстановления деталей почвообрабатывающих машин [2-4], нежели для эксплуатации контактных соединений ЭТК. Кроме того, формула (14) справедлива при выполнении условия:

$$t^{(k)} > \frac{cl^2}{2\lambda}, \quad (16)$$

которое вытекает из требования выполнения условия  $t > 0,5$  [9].

**Передаточная функция, полученная с учётом теплоты, выделенной в теле контакт-детали.** С целью упрощения для уточнения передаточной функции интеллектуального датчика температуры контактной поверхности КС по формулам (4) вместо задачи (5) будем решать близкую к ней по

физической сущности вторую краевую задачу теплопроводности

$$\left. \begin{aligned} c\gamma \frac{\partial T_w}{\partial t} &= \lambda \frac{\partial^2 T_w}{\partial x^2} + w, \quad 0 < x < l, \quad t > 0 \\ \frac{\partial T_w}{\partial x} &= 0, \quad x = 0, \quad t > 0 \\ \frac{\partial T_w}{\partial x} &= 0, \quad x = l, \quad t > 0 \\ T &= 0, \quad 0 \leq x \leq l, \quad t = 0 \end{aligned} \right\}. \quad (17)$$

Интегрируя уравнение теплопроводности (первое уравнение задачи (17)) по пространственной переменной в пределах длины модельного стержня  $l$ , получаем обыкновенное дифференциальное уравнение относительно средней температуры контактного элемента 2 (рис. 1 б)

$$\theta = \theta(t) = \frac{T_{w,1} + T_{w,2}}{2}; \quad \frac{d\theta}{dt} = \frac{w}{c\gamma}, \quad (18)$$

решение которого при  $\theta(0) = 0$  записывается с учетом (1) в виде:

$$\theta(t) = \frac{I^2 \rho_{20} \left( 1 + \alpha \frac{T_1(0) + T_{\max}}{2} \right)}{c\gamma S_1^2} t. \quad (19)$$

Теперь передаточная функция интеллектуального датчика температуры контактной поверхности электрического контакта, полученная с учётом теплоты, выделенной в теле контакт-детали в результате прямого электронагрева и калибровочных коэффициентов  $k_1$  и  $k_2$ , введённых для компенсации мультипликативной и аддитивной погрешностей измерений, имеет вид:

$$\hat{T}_{q,1}(t^{(k)}) = k_1 \left\{ \Phi(t^{(k)}) \hat{T}_{q,2}(t^{(k)}) + [1 - \Phi(t^{(k)})] T_0 + \frac{I^2 \rho_{20} \left( 1 + \alpha \frac{T_1(0) + T_{\max}}{2} \right)}{c\gamma S_1^2} t \right\} + k_2, \quad (20)$$

что позволяет по результатам измерений температуры открытой поверхности плоской контакт-детали  $\hat{T}_{q,2}(t^{(k)})$  судить о температуре контактной поверхности  $\hat{T}_{q,1}(t^{(k)})$  и рассчитать время достижения контактной поверхностью температуры плавления материала контакт-детали.

### Заключение

Для определения времени срабатывания защиты контактных соединений коммутационных аппаратов от сваривания контакт-деталей и оптимизации параметров технологических процессов восстановления деталей почвообрабатывающей техники, основанных на электроконтактном нагреве, проведён отдельный анализ процессов нагрева контактного элемента симметричной электроконтактной системы объёмными и поверхностными источниками теплоты. Получена передаточная функция интеллектуального датчика температуры контактной поверхности контакт-деталей, содержащая два калибровочных коэффициента. Для определения мультипликативного и аддитивного калибровочных коэффициентов  $k_1$  и  $k_2$  в качестве реперных точек могут быть использованы температуры рекристаллизации и плавления материалов контакт-деталей, при достижении которых происходят скачкообразные изменения падения напряжений на контактном соединении.

### Библиографический список

1. Бекбаев А.Б., Назарычев А.Н., Сарсенбаев Е.А., Титков В.В. Некоторые возможности динамической оценки температуры контактной поверхности при импульсных токовых нагрузках // Научни известия. Спец. выпуск «Дни на безразрушителния контрол 2016» (Болгария). – 2016. – № 1 (189). – С. 362-364.
2. Бельчикова О.Г., Чижов В.Н., Шерышев В.П. Восстановление температуры поверхности медного электрода при электроконтактном напекании // Инж.-физ. журнал. – 2003. – Т. 76. – № 6. – С. 182-184.
3. Чижов В.Н., Болтенков А.А., Селивёрстов М.В., Телгожаева Ф.С. Математи-

ческое моделирование тепловых процессов в системе «Электрод деталь теплоотводящая масса» при ремонте деталей // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 12. – С. 80-85.

4. Болтенков А.А., Сарсенбаев Е.А., Селивёрстов М.В., Шерышев В.П. Расчёт времени нагрева симметричной электроконтактной пары до температуры рекристаллизации материала контакт-деталей // Вестник Алтайского ГАУ. – 2016. – № 1 (135). – С. 126-132.

5. Цепя А.П. Интеллектуальные датчики физических величин. Алгоритмы компенсации температурных погрешностей // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск. – 2008. – № 2. – С. 184-189.

6. Бекбаев А.Б., Шерышев В.П., Сарсенбаев Е.А. Верификация расчетной формулы интеллектуального датчика температуры // Электричество. – 2016. – № 3. – С. 61-65.

7. Бекбаев А.Б., Шерышев В.П., Ахметкалиев А.Е. Математическая модель температуры труднодоступной поверхности элементов электрооборудования технологических комплексов // Вестник КазНТУ им. К.И. Сатпаева. – 2013. – № 2 (96). – С. 134-139.

8. Воронин Д.М. Реализация принципов теории размерностей в научных исследованиях // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки – 2009. – № 4. – С. 108-110.

9. Бек Дж., Блакуэлл Б., Сент-Клэр Ч., мл. Некорректные обратные задачи теплопроводности: пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 312 с.

### References

1. Bekbaev A.B., Nazarychev A.N., Sarsenbaev E.A., Titkov V.V. Nekotorye vozmozhnosti dinamicheskoy otsenki temperatury kontaktnoy poverkhnosti pri impul'snykh tokovykh nagruzkakh // Nauchni izvestiya. Spets. vypusk «Dni na bezrazrushitelniya kontrol 2016» (Bolgariya). – 2016. – № 1 (189). – S. 362-364.
2. Bel'chikova O.G., Chizhov V.N., Sheryshev V.P. Vosstanovlenie temperatury poverkhnosti mednogo elektroda pri elektrok-

taktnom napekanii // Inzh.-fiz. zhurn. – 2003. – Т. 76. – № 6. – С. 182-184.

3. Chizhov V.N., Boltenev A.A., Seliverstov M.V., Telgozhaeva F.S. Matematicheskoe modelirovanie teplovykh protsessov v sisteme «Elektrod – detal' – teplootvodyashchaya massa» pri remonte detaley // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2009. – № 12. – С. 80-85.

4. Boltenev A.A., Sarsenbaev E.A., Seliverstov M.V., Sheryshev V.P. Raschet vremeni nagreva simmetrichnoy elektrokontaktnoy pary do temperatury rekristallizatsii materiala kontakt-detaley // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 1 (135). – С. 126-132.

5. Tsepa A.P. Intellektual'nye datchiki fizicheskikh velichin. Algoritmy kompensatsii temperaturnykh pogreshnostey // Izvestiya

YuFU. Tekhnicheskie nauki. Tematicheskii vypusk. – 2008. – № 2. – С. 184-189.

6. Bekbaev A.B., Sheryshev V.P., Sarsenbaev E.A. Verifikatsiya raschetnoy formuly intellektual'nogo datchika temperatury // Elektrichestvo. – 2016. – № 3. – С. 61-65.

7. Bekbaev A.B., Sheryshev V.P., Akhmetkaliev A.E. Matematicheskaya model' temperatury trudnodostupnoy. poverkhnosti elementov elektrooborudovaniya tekhnologicheskikh kompleksov // Vestnik KazNTU im. K.I. Satpaeva. – 2013. – № 2 (96). – С. 134-139.

8. Voronin D.M. Realizatsiya printsipov teorii razmernostey v nauchnykh issledovaniyakh // Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki. – 2009. – № 4. – С. 108-110.

9. Bek Dzh., Blakuell B., Sent-Kler Ch., ml. Nekorrektnye obratnye zadachi teploprovodnosti / per. s angl. – М.: Mir, 1989. – 312 s.

