

6. Rysin A.V. Ispolzovanie matematicheskikh modeley elementov vozdushnykh liniy elektropredachi dlya diagnostiki oborudovaniya // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie. 2025. T. 68. No. 6. S. 557-561. DOI: 10.17586/0021-3454-2025-68-6-557-561.

7. Ziniev Sh.Z., Kargin V.A., Usanov K.M. Metodologicheskie osnovy obespecheniya nadezhnosti v selskoy elektroenergetike // Agrarnyy nauchnyy zhurnal. 2025. No. 12. S. 164–171. <https://doi.org/10.28983/asj.y2025i12pp164-171>.

8. Liao, W., Ruan, J., Xie, Y., et al. (2023). Deep learning time pattern attention mechanism-based short-term load forecasting method. *Frontiers in Energy Research*. 11. DOI: 10.3389/fenrg.2023.1227979.

9. Lin, G., Zhang, H., Chen, L., Chen, X. (2025). Deep Learning Based Fault Detection and Diagnosis Method for Power Systems. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*. 10. DOI: 10.2478/amns-2025-0200.

10. Miserkhanov, L. Kh., Ezirbaev T. B., Turlyev R. A. V. Povyshenie energoustoychivosti subekta Rossiyskoy Federatsii dlya obespecheniya energeticheskoy bezopasnosti i ekonomicheskogo

razvitiya // Predprinimatelskoe pravo. 2024. No. 4. S. 44-51. DOI 10.18572/1999-4788-2024-4-44-51.

11. Fristiana, A., Alfarozi, S., Permanasari, A., et al. (2024). A Survey on Hyperparameters Optimization of Deep Learning for Time Series Classification. *IEEE Access*. 12. 191162-191198. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3516198.

12. Isaeva A. S., Denisenko M. A., Kots I. N., Testing the layout of the rail condition monitoring system using LSTM recurrent neural networks, *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Physics and Mathematics*. 15 (3.2) (2022) 51–55. DOI: <https://doi.org/10.18721/JPM.153.209>.

13. Gorshenin A.Yu., Denisova L.A. Prognozirovaniye vyrabotki elektroenergii vetroelektrostantsiy s primeneniem rekurrentnoy neyronnoy seti // Izvestiya Tuskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2023. No. 4. S. 39-45. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-4-39-45.

14. Kashirina I.L., Demchenko M.V. Issledovaniye i sravnitelnyy analiz metodov optimizatsii, ispolzuemykh pri obuchenii neyronnykh setey // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sistemnyy analiz i informatsionnye tekhnologii. 2018. No. 4. S. 123-132.



УДК 631.371:621.31

DOI: 10.53083/1996-4277-2026-256-2-85-92

О.Г. Бельчикова, А.А. Болтенков,
М.В. Селивёрстов, В.П. Шерышев
O.G. Belchikova, A.A. Boltenkov,
M.V. Seliverstov, V.P. Sheryshev

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЗАВЕРШЕНИЯ СТАДИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ВОССТАНАВЛИВАЕМОГО ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫМ НАГРЕВОМ ДИСКА СОШНИКА

DETERMINATION OF COMPLETION TIME OF THERMAL PREPARATION STAGE OF A FURROW OPENER DISC BEING RECONDITIONED BY ELECTROCONTACT HEATING

Ключевые слова: восстановление, диск сошника, электроконтактный нагрев, адиабатический режим, максимально допустимая температура, стадия термической подготовки, время завершения, стержневая модель, расчётная формула.

Keywords: reconditioning, furrow opener disc, electrocontact heating, adiabatic mode, maximum permissible temperature, thermal preparation stage, completion time, rod model, calculation formula.

Показаны возможности перехода от стержневой (одномерной) математической модели процесса нагрева формирующего электрода в системе «электрод – деталь – теплоотводящая масса», представленной в форме граничной обратной задачи теплопроводности к прямой задаче, имеющей в адиабатическом приближении на малом интервале времени аналитическое решение, к определению времени завершения первой стадии (стадии термической подготовки детали к пластической деформации) процесса восстановления режущей кромки диска сошника зерновой сеялки с помощью электромеханического деформирования. Предложен инновационный конструктив подвода электрической мощности и реализации усилия нажатия на электрод, включающий плоский токоведущий стержень прямоугольного сечения – медная шина, толщина которой значительно меньше ширины, присоединённый болтовым соединением к аналогичному стержню из электрокерамики (формирующему электроду; вторым электродом служит сам восстанавливаемый диск), нижняя наклонная поверхность которого в момент пуска установки образует с конической частью восстанавливаемого диска линейный электрический контакт. После приложения к верхней наклонной поверхности электрода через слой теплоизолирующей керамики, обладающей требуемой электрической и механической прочностью заданного усилия нажатия, линейный контакт переходит в плоскостной электрический контакт. После короткозамкнутого приложения электрического напряжения в диске происходят сложные взаимно связанные тепловые, электрические и термомеханические процессы, трудно поддающиеся достаточно точному и реализуемому средствами современной микропроцессорной техники математическому описанию. Обоснованные упрощения позволяют получить расчётную формулу для вычисления времени завершения стадии термической подго-

товки изношенного диска на основе приближённо-аналитического решения граничной обратной задачи теплопроводности.

The possibilities of transition from a rod (one-dimensional) mathematical model of the heating of forming electrode in the system “electrode - part - heat dissipating mass” presented in the form of a boundary inverse problem of thermal conductivity to a direct problem are shown having an analytical solution in adiabatic approximation over a short time interval, to determine the time of completion of the first stage (stage of thermal preparation of the part for plastic deformation) of the process of reconditioning the cutting edge of the disc of a seed drill by means of electromechanical deformation. Innovative design of electric power supply and realization of push-to-electrode force is proposed including flat current-conducting rod rectangular section (copper rail) the thickness of which is significantly smaller than the width bolted to a similar electroceramic rod (forming electrode; the second electrode is the repairable disc), the lower inclined surface of which forms a linear electrical contact with the conical part of the retractable disc when the installation is started. After application to the upper inclined surface of the electrode through a layer of heat-insulating ceramic having the required electrical and mechanical strength of the specified force, the linear contact passes into a flat electric contact. After the short-circuited application of electric voltage in the disc, there are complex mutually related thermal, electrical and thermomechanical processes that are difficult to be described mathematically with sufficient precision and implemented by modern microprocessor technology. The substantiated simplifications make it possible to obtain a calculation formula for calculating the time of completion of the stage of thermal preparation of worn disc on the basis of an approximate-analytical solution of the boundary inverse heat conduction problem.

Бельчикова Ольга Геннадьевна, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: belchikova@yahoo.com.

Болтенков Андрей Анатольевич, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: Boltenkov_A@mail.ru.

Селивёрстов Максим Владимирович, ст. преп., ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: Seliv-Maks@yandex.ru.

Шерышев Валерий Павлович, д.т.н., пенсионер, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: vpsh5@rambler.ru.

Belchikova Olga Gennadevna, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: belchikova@yahoo.com.

Boltenkov Andrey Anatolevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: Boltenkov_A@mail.ru.

Seliverstov Maksim Vladimirovich, Asst. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: Seliv-Maks@yandex.ru.

Sheryshev Valeriy Pavlovich, Dr. Tech. Sci., retiree, Barnaul, Russian Federation, e-mail: vpsh5@rambler.ru.

Введение

Ресурсосберегающий метод электромеханического деформирования (ЭМД) [1], основанный на электроконтактном нагреве, сочетающий од-

новременно термическое и силовое воздействие на восстанавливаемый участок режущей кромки диска сошника, разделяется на две стадии: статическую (термическая подготовка детали к пла-

стической деформации, угловая скорость $\omega=0$) и динамическую (с заданной угловой скоростью) (рис. 1 а, б) [2]. На рисунке показано положение электрода в конце первой стадии.

При одновременном воздействии силы F и электрического напряжения U (вторичное напряжение понижающего трансформатора), вследствие чрезвычайной малости исходной

площади контактной поверхности электрод-деталь (поверхность $x=0$, рис. 1 б) и высокой плотности тока, протекающего через контакт, происходит практически мгновенное возрастание температуры контактной поверхности до температуры рекристаллизации материала детали T_P (предельно допустимой температуры – T_{max}).

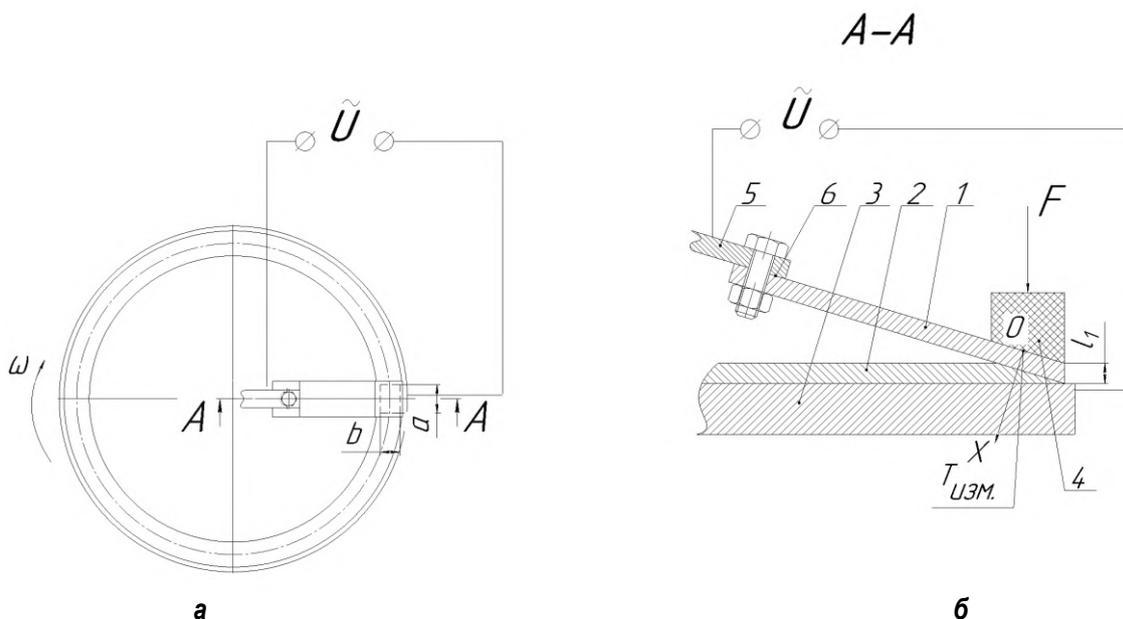


Рис. 1. Подвод электрической мощности и реализация усилия нажатия на электрод в системе «электрод – деталь – теплоотводящая масса»:

а – план, б – продольный разрез; 1 – электрод, 2 – деталь, 3 – теплоотводящая масса, 4 – керамический изолятор,

5 – медный стержень прямоугольного сечения (шина), 6 – болтовое соединение;

$T_{изм}$ – температура теплоизолированной поверхности плоского керамического электрода, измеренная с помощью контактного или бесконтактного малоинерционного датчика температуры в точке перехода адиабатического процесса нагрева

формирующего электрода в линейную стадию нагрева; а – ширина электрода; б – длина образующей конической поверхности восстанавливаемого диска сошника в момент времени завершения первой стадии

Используемое с целью сокращения объёма экспериментальных работ математическое моделирование процесса нагрева (в данном случае – нагрева тонкого теплоизолированного с поверхности составного стержня «электрод – деталь – теплоотводящая масса» [2]) позволяет получить лишь качественное представление о тепловом процессе в целом.

Более полное представление о процессе даёт математическая модель на основе одномерной граничной обратной задачи теплопроводности (ОЗТ) [4, 5], построенная для анализа процесса электроконтактного нагрева плоского керамического формирующего электрода (инстру-

мента), который благодаря более высокой, чем у стали, твёрдости практически не меняет своей формы и толщины в процессе нагрева до температуры рекристаллизации материала детали T_P . Однако большой объём вычислений при реализации численных алгоритмов решения граничных ОЗТ требует применения алгоритмов, основанных на аналитических решениях.

Целью работы является определение времени термической подготовки диска сошника под пластическую деформацию на первой стадии процесса восстановления режущей кромки с использованием алгоритма, основанного на приближённо аналитическом решении прямой

задачи теплопроводности, который пригоден также и к решению граничной ОЗТ в адиабатическом приближении.

Материалы и методы

Для обеспечения одномерности процесса теплопередачи от тепловыделяющей поверхности контакта электрод-деталь $x=l_1$ (рис. 1 б) к тепловоспринимающей внешней поверхности $x=0$ и правомерности постановки граничной ОЗТ необходимо: 1) обеспечить постоянство плотности теплового потока через поверхность $x=0$: $q=const$ и 2) выбрать на этапе проектирования производственной установки толщину плоского формующего электрода l_1 из огнестойкой достаточно твёрдой электрокерамики, например, из условия, полученного по рекомендациям [6-8]:

$$l_1 = k_1 \frac{S}{a+b}, \quad (1)$$

где $k_1 = 10^{-1}$ – коэффициент, показывающий, что суммарная площадь горизонтальных поверхностей электрода должна быть на порядок больше суммарной площади вертикальных;

S – условная (кажущаяся) площадь контакта электрод-деталь в момент времени завершения первой стадии ЭМД ($S=a \times b$, рис. 2 а).

Согласно [3], на интервале порядка 1 с допустимо степень термического воздействия вторичного тока трансформатора i определять по значению термически эквивалентного тока $I_{тэ}$:

$$I_{тэ} = \sqrt{\frac{\int_0^{t_1} i^2(t) dt}{t_1}}, \quad (2)$$

где $i(t)$ – вторичный ток силового трансформатора в произвольный момент времени t ;

t_1 – время завершения стадии термической подготовки детали к пластической деформации, которое подлежит определению в настоящем исследовании.

Заданную по формуле (3) плотность теплового потока q_3 при этом можно считать постоянной:

$$q_3 = \frac{u I_{тэ}}{2s} = const. \quad (3)$$

Отметим, что соотношение (3) в данном случае используется только для доказательства одномерности процесса теплопередачи, т.к. q_3 используется и проявляется только на экспериментальной установке.

На рисунке 2 б представлены тепловая схема процесса теплопередачи через слой материала формующего электрода (тепловая схема процесса адиабатического нагрева на малом временном интервале формующего электрода, в качестве которого рассматривается тонкий керамический стержень, нагреваемый со стороны нижнего основания (контактной поверхности) постоянным тепловым потоком, и модель формующего электрода.

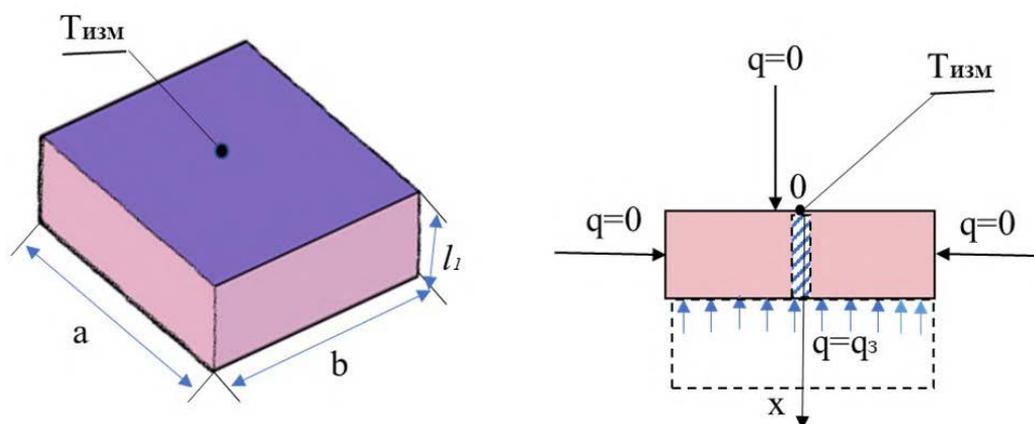


Рис. 2. Задание постоянного теплового потока на экспериментальной установке: а – общий вид фрагмента формующего электрода; б – продольный разрез, модель стержня из материала формующего электрода и тепловая схема процесса нагрева

Модель формующего электрода – тонкий изолированный с боковой поверхности и верхнего торца стержень, нагреваемый постоянным тепловым потоком плотности q_3 (рис. 2 б). Площадь поперечного сечения стержня равна поло-

вине своего значения в конце первой стадии (формула (1), т.е. в момент времени $t = t_1$, а при $t = t_0$ в начале стадии адиабатического режима нагрева по линейному закону площадь сечения стержня близка к нулю.

При изготовлении экспериментальной установки постоянный тепловой поток снизу может быть реализован вторым электродом из стали, меди или такой же керамики (симметричный плоский электрический контакт), показанный на рисунке 2 б пунктиром.

В таблице 1 приведены математические описания прямой (Задача А) и обратной (Задача Б) задач теплопроводности для теплоизолированного тонкого стержня, выделенного по центру плоского формующего электрода (рис. 2 б).

Более полно (адекватно) описывающей поставленную задачу, чем прямая задача теплопроводности, является граничная ОЗТ (задача Б, табл. 1). Её решение может быть найдено

каким-либо численным методом, например, методом квазиобращения [9]. Это потребует больших вычислительных ресурсов, не доступных современным микроконтроллерам. Кроме того, отсутствие устойчивости обратных задач по отношению к погрешности измерений исходных данных требует разработки специальных методов их решения. Однако в ряде случаев, когда, например, в зоне контроля известен закон изменения теплового потока, задача контроля температуры сводится к решению прямой задачи теплопроводности [8]. В более широком плане сведение обратных задач теплопроводности к прямым начально-краевым задачам рассмотрено в [10].

Таблица 1

Прямая (А) и обратная (Б) задачи теплопроводности в формующем электроде ($l=l_1$)

Задача А	Задача Б
$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\gamma} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$ $\frac{\partial T}{\partial x} = 0, x = 0,$ $-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = q_3, x = l$ $T = T_{cp}, 0 < x < l, (t = 0)$	$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\gamma} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$ $-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = 0, x = 0$ $T = T_{изм}(t), x = 0$

Прямая задача для одномерного уравнения теплопроводности с условиями однозначности (краевыми условиями при $x = 0$ и $x = l$ и начальном при $t = 0$ (табл. 1, задача А) имеет единственное непрерывно зависящее от входных параметров приближённое решение, которое на концах тонкого стержня в точках $x = 0$ и $x = l$ (рис. 2 б) на интервале времени $[t_0, t_1]$ можно представить в виде [11]:

$$T_1(t) = q \left[\frac{1}{c\gamma l} t + \frac{l}{3\lambda} \right] + T_0; \quad (4)$$

$$T_2(t) = q \left[\frac{1}{c\gamma l} t - \frac{l}{6\lambda} \right] + T_0, \quad (5)$$

где λ – теплопроводность материала электрода;

c – удельная теплоёмкость;

γ – плотность.

Используя уравнения (4)-(5), получаем формулу для определения прогнозируемого времени завершения стадии термической подготовки восстанавливаемого диска к пластической деформации:

$$t_1 = k \frac{l^2}{3\alpha} \left(\frac{T_{max} - T_0}{T_{изм} - T_0} - 1 \right), \quad (6)$$

где t_1 – время завершения стадии термической подготовки;

k – поправочный коэффициент, который определяется из натурального эксперимента с симметричным контактным соединением шин из электрокерамики Т15К6 с четырьмя болтами ($k = 0,6-0,8$);

T_0 – начальная температура электрода;

T_{max} – максимально допустимая температура нагрева контактной поверхности к моменту времени завершения стадии термической подготовки t_1 .

Результаты исследований и их обсуждение

Для верификации формулы (6) был выполнен численный эксперимент. В качестве материала формующего электрода была выбрана керамика Т15К6. Её теплофизические характеристики, толщина электрода и (T_0, T_{max}) приведены в таблице 2.

Результаты численного эксперимента показывают, что:

- с увеличением температуры внешней теплоизолированной поверхности формующего электрода в момент времени $t=t_0$ перехода про-

цесса адиабатического нагрева в линейную стадию от 110 до 200°C, что соответствует возрастанию термически эквивалентного тока вторичной обмотки трансформатора и соответственно тепловыделения на контактной поверхности, происходит плавное уменьшение времени завершения стадии термической подготовки диска сошника к пластической деформации;

- самое подходящее тепловыделение и подходящее соответствующее значение термически эквивалентного тока соответствует нагреву теплоизолированной поверхности за время $t=t_0$ до 170°C. Время завершения первой стадии процесса восстановления диска сошника в данном случае не превышает 1 с (табл. 3).

Таблица 2

Исходные данные для расчёта

Наименование и обозначение		Значение	Единица измерения
Толщина электрода	l	0,003	м
Теплопроводность	λ	35	Вт/(м×°C)
Удельная теплоёмкость	C	2,87E+06	Дж/(м³×°C)
Начальная температура	T_0	2,00E+01	°C
Допустимая температура	T_{max}	7,00E+02	°C
Температуропроводность	a	1,22E-05	м²/с

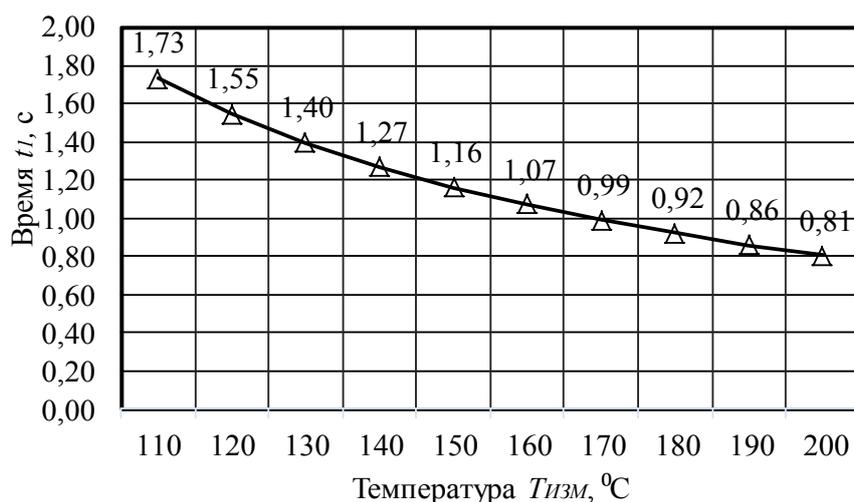


Рис. 3. Результаты численного эксперимента

Таблица 3

Результаты численного эксперимента

$T_{ИЗМ}(t_0)$, °C	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
t_1 , с	1,73	1,55	1,40	1,27	1,16	1,07	0,99	0,92	0,86	0,81

Выводы

При наличии датчика температуры (например, тонкоплёночного терморезистора с временным разрешением не хуже 0,001 с) завершить стадию термической одготовки к пластической деформации при восстановлении диска сошника зерновой сеялки с помощью электроконтактного нагрева до температуры рекристаллизации материала диска за время

порядка одной секунды, используя плоский формующий электрод 3-миллиметровой толщины из керамики Т15К6 можно по одному достаточно точному измерению в момент времени $t=t_0=l^2/2a=0,123$ с, полученному с помощью тонкоплёночного терморезистора, размещённого между плоским формующим электродом и теплоизолятором. Данный результат получен без измерения вторичного тока и напря-

жения, только при наличии одного измерения температуры теплоизолированной поверхности электрода в момент времени $t=t_0$.

Библиографический список

1. Электромеханическое деформирование металлов – основа ресурсосбережения при ремонте деталей / В. Н. Чижов, О. Г. Бельчикова, М. В. Селиверстов, К. В. Селиверстов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2007. – № 9 (35) – С. 54-58.

2. Болтенков, А. А. Вопросы моделирования тепловых процессов при восстановлении режущей способности дисковых рабочих органов почвообрабатывающих машин методом электромеханического деформирования / А. А. Болтенков, М. В. Селиверстов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 9 (167). – С. 155-164.

3. ГОСТ 30323-95. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания. – Текст: непосредственный

4. Бухмиров, В. В. Тепломассообмен: учебное пособие / В. В. Бухмиров; ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. – 360 с. – Текст: непосредственный.

5. Зверев, В. Г. Определение теплофизических характеристик материалов при тепловом воздействии постоянной мощности / В. Г. Зверев, В. А. Назаренко, А. В. Теплоухов. – Текст: непосредственный // Теплофизика и аэромеханика. – 2011. – Т. 18, № 3. – С. 493-502.

6. Товстоног, А. В. Оценка масштабных факторов при моделировании тепловых режимов огнестойких композиционных материалов / А. В. Товстоног, В. Н. Елисеев. – Текст: непосредственный // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия: Машиностроение. – 1998. – № 3. – С. 78-86.

7. Осипова, В. А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена / В. А. Осипова. – Москва: Энергия, 1979. – 320 с. – Текст: непосредственный.

8. Метод определения температуры поверхности в области ее взаимодействия с потоком низкотемпературной плазмы / Н. Л. Казанский, А. И. Колпаков, В. А. Колпаков, В. Д. Паранин. –

Текст: непосредственный // Журнал технической физики. – 2007. – Т. 77, вып. 12. – С. 21-25.

9. Лаврентьев, М. М. Некорректные задачи математической физики и анализа / М. М. Лаврентьев, В. Г. Романов, С. П. Шишатский. – Москва: Наука, 1980. – 283 с. – Текст: непосредственный.

10. Борухов, В. Т. Сведение одного класса обратных задач теплопроводности к прямым начально-краевым задачам / В. Т. Борухов, П. Н. Вабищевич, В. И. Кораук. – Текст: непосредственный // Инженерно-физический журнал. – 2000. – Т. 73, № 4. – С. 744-747.

11. Патент РФ 2791293 С1 / Бекбаев А., Болтенков А. А., Сарсенбаев Е. А., Селиверстов М. В., Каликасов Н. Т., Шерышев В. П. – Заявка: № 2022114921, 01.06.2022; опубл. 07.03.2023, Бюл. № 7. – 16 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Chizhov V. N. Elektromekhanicheskoe deformatsionirovanie metallov – osnova resursosberezheniya pri remonte detaley / V. N. Chizhov, O. G. Belchikova, M. V. Seliverstov, K. V. Seliverstov // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2007. – No. 9 (35). – S. 54-58.

2. Boltenkov, A. A. Voprosy modelirovaniya teplovykh protsessov pri vosstanovlenii rezhushchey sposobnosti diskovykh rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin metodom elektromekhanicheskogo deformatsionirovaniya / A. A. Boltenkov, M. V. Seliverstov // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 9 (167). – S. 159-164.

3. GOST 30323-95. Korotkie zamykaniya v elektroustanovkakh. Metody rascheta elektrodinamicheskogo i termicheskogo deystviya toka korotkogo zamykaniya.

4. Bukhmirov V.V. Teplomassoobmen: ucheb. posobie / FGBOU VPO "Ivanovskiy gosudarstvennyy energeticheskiy universitet imeni V.I. Lenina". – Ivanovo, 2014. – 360 s.

5. Zverev V.G., Nazarenko V.A., Teploukhov A.V. Opredelenie teplofizicheskikh kharakteristik materialov pri teplovom vozdeystvii postoyannoy moshchnosti // Teplofizika i aeromekhanika. – 2011. – T. 18. – No. 3. – S. 493-502.

6. Tovstonog A.V., Eliseev V.N. Otsenka mashtabnykh faktorov pri modelirovanii teplovykh rezhimov ognestoykikh kompozitsionnykh materia-

lov // Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Mashinostroenie. 1998. No. 3. S. 78–86.

7. Osipova V. A. Eksperimentalnoe issledovanie protsessov teploobmena. Moskva: Energiya. 1979. 320 s.

8. Kazanskiy N.L., Kolpakov A.I., Kolpakov V.A., Pararin V.D. Metod opredeleniya temperatury poverkhnosti v oblasti ee vzaimodeystviya s potokom nizektemperaturnoy plazmy // ZHTF. – 2007. – T. 77. – Vyp. 12. – S. 21-25.

9. Lavrentev M.M., Romanov V.G., Shishatskiy S.P. Nekorrektnye zadachi matematicheskoy fiziki i analiza. – Moskva: Nauka, 1980. – 283 s.

10. Borukhov V.T., Vabishchevich P.N., Korayuk V.I. Svedenie odnogo klassa obratnykh zadach teploprovodnosti k pryamym nachalno-kraevym zadacham // IFZH. – 2000. – T. 73. – No. 4. – S. 744-747.

11. Pat. RF 2791293 S1 / Bekbaev A., Boltenev A.A., Sarsenbaev E.A., Seliverstov M.V., Kalikasov N.T., Sheryshev V.P. – Zayavka: 2022114921, 01.06.2022; opubl. 07.03.2023. Byul. No. 7. – 16 s.



УДК 631.354.2

DOI: 10.53083/1996-4277-2026-256-2-92-98

А.Е. Марков, И.Н. Матвеев, Н.С. Хитерхеева, М.М. Шадрин, З.Ю. Стрекаловская
 A.E. Markov, I.N. Matveev, N.S. Khiterkheeva, M.M. Shadrin, Z.Yu. Strekalovskaya

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ РУЛОННОГО ПРЕСС-ПОДБОРЩИКА METAL-FACH Z-562

DEVELOPMENT OF OPERATIONAL DIAGNOSTIC AND MAINTENANCE SYSTEM FOR THE METAL-FACH Z-562 ROLL BALER

Ключевые слова: пресс-подборщик, диагностика, техническое обслуживание, регулировка, неисправность, ремонт, Metal-FachZ-562, вязальный аппарат, подборный аппарат, плановое ТО.

Представлены результаты разработки комплексной системы оперативной диагностики и технического обслуживания рулонного пресс-подборщика Metal-Fach Z-562. Актуальность исследования обусловлена ключевой ролью данной техники в заготовке кормов, где ее надежная работа напрямую влияет на экономическую эффективность. Проблема длительных простоев из-за неисправностей, часто связанных с нарушением регулировок, и недостаточность сведений в стандартных инструкциях определили цель работы: создание наглядного практического

руководства для быстрой диагностики и ремонта. В ходе исследования применялся комплекс методов, включая полевые наблюдения за работой пресс-подборщика в реальных условиях, структурно-функциональный анализ его ключевых узлов, систематизацию неисправностей и технические замеры. Основным результатом стала разработка 5 взаимосвязанных диагностических таблиц, которые охватывают все критические компоненты агрегата: камеру уплотнения, подборно-плющильный аппарат, вязальный механизм (Knotter), а также общесистемные проблемы (привод, гидравлика, подача шпата). Каждая таблица устанавливает четкую связь между симптомами неисправности, наиболее вероятными причинами и детальным пошаговым алгоритмом устранения, адаптированным для модели Z-562. До-