

Ф.И. Абрамчук, А.Н. Пойда, А.Н. Кабанов, А.А. Дзюбенко, А.П. Кузьменко, Г.В. Майстренко // Механика и машиностроение: сб. науч. тр. – Харьков: ХПИ. – 2010. – №1. – С. 66-73. 11. *Абрамчук Ф.И.* Способ подачи водорода для питания автомобильного двигателя [Текст] / Ф.И. Абрамчук, А.Н. Кабанов, А.А. Дзюбенко, А.П. Кузьменко // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2010. – № 26. – С. 63-66. 12. *Кабанов А.Н.* Снижение выбросов вредных веществ с отработавшими газами транспортных дизелей путём конвертирования их в газовые двигатели [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.05.03 / Кабанов Александр Николаевич. – Х., 2007. – 206 с. 13. *Соболь И.М.* Выбор оптимальных критериев в задачах со многими параметрами [Текст] / И.М. Соболь, Р.Б. Статников. – М. : Наука, 2005. – 110 с. 14. *Attar A.A.* Optimization and Knock Modelling of a Gas Fueled Spark Ignition Engine [Текст]: PhD thesis: Mechanical Engineering / A.A. Attar. – Calgary, Canada, 1997. – 248 p. 15. *Абрамчук Ф.И.* Методика расчёта процесса сгорания газового двигателя с высокоэнергетической системой зажигания [Текст] / Ф.И. Абрамчук, А.Н. Кабанов, В.Н. Муратов, А.П. Кузьменко, Г.В. Майстренко // Межвузовский сборник “Наукові нотатки”. – Луцк: Луцкий Национальный технический университет. – 2010. – № 28. – С. 4-8. 16. *Абрамчук Ф.И.* Методика расчёта процесса сгорания газового двигателя с высокоэнергетической системой зажигания [Текст] / Ф.И. Абрамчук, А.Н. Кабанов // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2007. – № 2. – С. 67 – 73.

Поступила в редколлегию 19.10.2011

УДК 536.24

А.П. СЛЕСАРЕНКО, докт. физ.-мат. наук, проф., вед. науч. сотр.,
Институт ИПМаш НАН Украины им.А.Н.Подгорного, Харьков
Н.А. САФОНОВ, канд. физ.-мат. наук, науч. сотр., Институт
ИПМаш НАН Украины им.А.Н.Подгорного, Харьков
А.А. ВЕРХУША, ассист., ХНАГХ, Харьков

УПРАВЛЯЕМАЯ МНОГОСТУПЕНЧАТАЯ ТЕРМООБРАБОТКА В НЕРАЗРУШАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТИ РЕЛЬСОВОГО ПОЛОТНА

Предлагаются новые подходы к созданию неразрушающих технологий очистки поверхности рельсового полотна на базе управляемой многоступенчатой термообработки в зависимости от изменения климатических условий.

Ключевые слова: управляемая термообработка, плазменный факел, рельсовое полотно, очистка поверхности.

Пропонуються нові підходи до створення неруйнуючих технологій очищення поверхні рейкового полотна на базі керованої багатоступінчатої термообробки залежно від зміни кліматичних умов.

Ключові слова: керована термообробка, плазмовий факел, рейкове полотно, очищення поверхні.

New approaches are offered to creation of not destroying technologies of cleaning of surface of rail linen on the base of the guided multi-stage heat treatment depending on the change of climatic terms.

Keywords: guided heat treatment, plasma torch, rail linen cleaning of surface.

Постановка проблемы

Мировой и отечественный опыт очистки поверхности рельсового полотна подтверждает экономическую и технологическую целесообразность использования плазменных технологий очистки. При этом плазменные

технологии очистки поверхности рельсового полотна относятся к наиболее перспективным. Они позволяют рационально на многоступенчатом уровне использовать плазменный факел при создании условий неразрушающей термообработки поверхностей и поддержании заданных стандартов температуры на поверхности рельсового полотна, при которой происходит полное испарение дисперсных элементов загрязнения.

Много — параметричность задач управления плазменными факелами с целью создания на поверхности рельсового полотна температуры испарения элементов загрязнения и сложность получения их решения, трудоемкость и дороговизна натуральных экспериментальных исследований объясняют причины, по которым в настоящее время отсутствует необходимый объем данных для оптимального проектирования управляемых систем обогрева плазменными факелами.

Таким образом, научные исследования, посвященные решению данной проблемы, являются актуальными.

Анализ исследований и публикаций

На состоявшемся в ноябре 2001 г. в Кёльне (Германия) Всемирном конгрессе по исследованиям на железнодорожном транспорте проблема термической очистки поверхности катания рельсов вызвала большой интерес [1]. Он был связан с всеобщим вниманием к трению в системе колесо — рельс и к влиянию на него самых разнообразных загрязнений. Для более детального исследования данной проблемы компания Laserthor построила в г.Бистере специальный испытательный стенд, на котором оценивали чистящие характеристики лазера при загрязнениях разных типов, включая ржавчину, консистентную смазку, листву. Лазерно-оптическое устройство типа Mk1 создавало ориентированный поперек головки рельса лазерный луч шириной 40 мм, проникающий на глубину 70 мкм, что обеспечивало непрерывное удаление загрязнений с головки рельса при движении со скоростью 13 км/ч. Затем испытывали усовершенствованное устройство типа Mk2. Положительные результаты испытаний создали предпосылки для разработки устройства типа Mk3, в котором используется сочетание нескольких лазерных лучей (каждый шириной 15 мм и глубиной проникновения 70 мкм), генерируемых отдельными лазерами, размещенными по схеме 2×3.

Полагают, что такое решение позволит эффективно очищать поверхность рельса при движении со скоростью 48 – 64 км/ч. Так как первые плазменные установки были достаточно громоздкими, то из экономических, конструктивных и технологических соображений приоритет при очистке поверхностей рельсового полотна отдавался лазерным технологиям. Однако в настоящее время появились достаточно компактные плазменные установки, управляемые микропроцессорными системами; они значительно мощнее. Поэтому на скоростях 40-60 км/час они оказываются предпочтительнее, чем лазерные установки; в связи с этим в данной статье исследуется зависимость температуры факела от скорости трамвая с целью обеспечения на поверхности рельсового полотна температуры, создающей испарение дисперсных элементов загрязнения, а также опавших листьев.

Цель работы. Разработка новых подходов к управляемой многоступенчатой термообработке поверхности рельсового полотна и на его основе разработка новой технологии очистки поверхности полотна от масляных пятен и загрязнений, создающих эффекты пробуксовки при движении трамвая.

Основные материалы исследования

Для того, чтобы нагреть рельс до 800°C , являющейся предельно-допустимой температурой согласно современным технологиям термообработки поверхности рельсового полотна, надо определить зависимость между температурой факела и скоростью движения трамвая. При увеличении скорости движения трамвая, для поддержания температуры поверхности полотна рельса от 400°C до 800°C за время Δt , достаточное для испарения загрязняющих элементов, температура плазменного факела должна повышаться.

В связи с этим возникает технологическая потребность в решении задачи определения оптимальной функциональной зависимости между скоростью движения трамвая и температурой плазменного факела, обеспечивающей «мягкую» плазменную термообработку поверхности рельсового полотна.

Технологический интервал температуры поверхности рельса при её мягкой многоступенчатой термообработке лежит в пределах $400^{\circ}\text{C} < T_{\text{п}} < 800^{\circ}\text{C}$.

Зависимость $T_{\text{ф}} = T_{\text{ф}}(V_{\text{тр}})$, обеспечивающую поддержание температуры $T_{\text{п}}$ – рельса, где $T_{1\text{п}} = 400^{\circ}\text{C}$ или $T_{2\text{п}} = 800^{\circ}\text{C}$ за время Δt , найдем из решения обратной нестационарной нелинейной задачи теплопроводности.

Построим математическую модель нагрева поверхности рельса

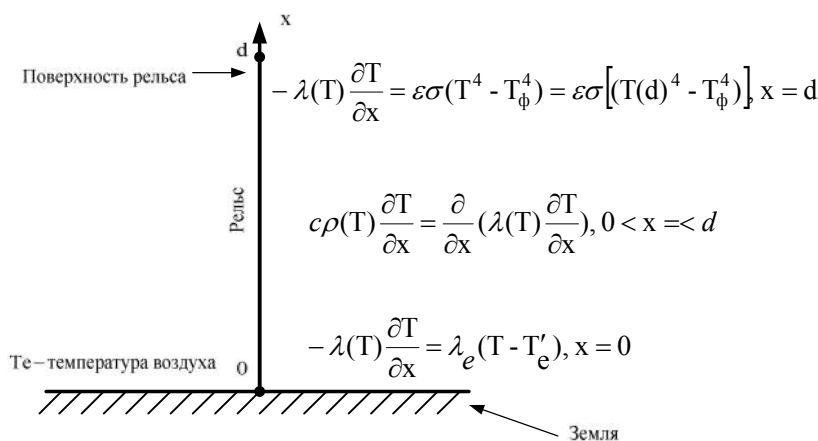


Рис.1. Математическая модель нагрева поверхности рельса

$$c\rho(T)\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}(\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial x}); T=T(x,t); 0 < x < d; t > 0, \quad (1)$$

$$-\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial x}\Big|_{x=d} = \varepsilon\sigma [T^4 - T_{\text{ф}}^4]\Big|_{x=d}; x=d, t > 0$$

$$\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial x}\Big|_{x=0} = \alpha_l [T - T_l], x=0, t > 0 \quad (2)$$

$$T|_{t=0} = T_c; \quad (3)$$

$$T|_{x=d} = T^* \quad t > 0 \quad (4)$$

где $T_{\text{ф}}$ – температура плазменного факела, К; α – коэффициент температуропроводности; $\lambda(T)$ – коэффициент теплопроводности; ε – степень черноты поверхности рельса; σ – постоянная Стефана-Больцмана; d – толщина профиля рельса, м; $T^* = T_{1\text{п}}$ или $T^* = T_{2\text{п}}$.

При этом в первой задаче определяется оптимальная зависимость $T_{\phi}=T_{\phi}(V)$, где V – скорость движения трамвая определяется при $T_{\Pi}|_{x=d} = 400^{\circ}C$, а во второй задаче оптимальная зависимость при $T_{\Pi}|_{x=d} = 800^{\circ}C$.

Для решения обратной нелинейной нестационарной задачи теплопроводности (1)-(4) совместно применим метод прямых и вариационный метод. В этом случае на временной переменной $0 \leq t < \infty$ построим сетку $t_{l+1} = t_l + \Delta t$; $\Delta t = \frac{t^*}{m}$, где t^* - временный интервал исследования теплового процесса.

При этом $\frac{\partial T}{\partial \tau} \approx \frac{T^{l+1} - T^l}{\Delta t}$.

Тогда нелинейная нестационарная задача теплопроводности для каждого момента времени будет иметь вид

$$\begin{cases} -\frac{\partial}{\partial x}(\lambda(T^{l+1})\frac{\partial T^{l+1}}{\partial x}) + c\rho(T^{l+1})\frac{T^{l+1}}{\Delta t} = c\rho(T^{l+1})\frac{T^l}{\Delta t}, 0 < x < d & (5) \\ -\lambda(T^{l+1})\frac{\partial T^{l+1}}{\partial x} = \varepsilon\sigma[(T^{l+1})^4 - T_{\phi}^4], x = d & (6) \\ \lambda(T^{l+1})\frac{\partial T^{l+1}}{\partial x} = \alpha_l(T^{l+1} - T_l), x = 0 & (7) \\ T^{l+1}|_{x=d} = T^* & (8) \end{cases}$$

Принимая итерационный метод [2], задача (5)-(8) для каждого момента времени и первой задачи для каждой итерации запишем в виде

$$\begin{cases} -\frac{\partial}{\partial x}(\lambda(T_{p,3}^{l+1})\frac{\partial T_{p+1,1}^{l+1}}{\partial x}) + c\rho(T_{p,3}^{l+1})\frac{T_{p+1,1}^{l+1}}{\Delta t} = c\rho(T_{p,3}^{l+1})\frac{T^l}{\Delta t}, 0 < x < d & (9) \\ -\lambda(T_{p,3}^{l+1})\frac{\partial T_{p+1,1}^{l+1}}{\partial x} = \varepsilon\sigma[(T_{p,3}^{l+1})^3 T_{p+1,1}^{l+1} - T_{\phi}^4], x = d & (10) \\ \lambda(T_{p,3}^{l+1})\frac{\partial T_{p+1,1}^{l+1}}{\partial x} = \alpha_l(T_{p+1,1}^{l+1} - T_l), x = 0; \quad = 0, 1, 2, \dots, \quad = 0, 1, 2, \dots & (11) \\ T_{p,3}^{l+1} = T_l & (12) \end{cases}$$

$$T_{p,3}^{l+1} = T^l, \quad 0 < x < d;$$

Сведем задачи (9)-(12) к вариационным задачам о минимуме функционалов.

$$\begin{aligned} I_{p+1,1}^{l+1} = & \int_0^l \left[\lambda(T_{p,3}^{l+1}) \left(\frac{\partial T_{p+1,1}^{l+1}}{\partial x} \right)^2 + c\rho(T_{p,3}^{l+1}) \frac{(T_{p+1,1}^{l+1})^2}{\Delta t} - \right. \\ & \left. - 2c\rho(T_{p,3}^{l+1}) \frac{T^l}{\Delta t} T_{p+1,1}^{l+1} \right] dx + \left[\varepsilon\sigma(T_{p,3}^{l+1})^3 (T_{p+1,1}^{l+1})^2 - \right. \\ & \left. - 2\varepsilon\sigma T_{\phi}^4 T_{p+1,1}^{l+1} \right]_{x=d} + \left[\alpha_l (T_{p+1,1}^{l+1})^2 - 2\alpha_l T^l T_{p+1,1}^{l+1} \right]_{x=0} \end{aligned} \quad (13)$$

Системы алгебраических уравнений для отыскания неопределенных компонент $C_{p+1,1,i}^{l+1}$ структур решений

$$T_{p+1,1}^{l+1} = \sum_{i=0}^n C_{p+1,1,i}^{l+1} \chi_4^i(x)$$

вариационных задач (13), где $\chi_4(x)$ - полиномы Чебышева, масштабированные на интервале $0 \leq x \leq d$, имеют вид

$$T_{p+1,1}^{l+1} = \sum_{i=0}^n C_{p+1,1,i}^{l+1} \phi_i$$

$$\sum_{i=0}^n C_{p+1,1,i}^{l+1} \left\{ \int_0^d (\lambda(T_{p,3}^{l+1}) \phi_i' \phi_\gamma' + c\rho \frac{(T_{p,3}^{l+1})}{\Delta t} \phi_i' \phi_\gamma') dx + \right.$$

$$\left. + \varepsilon \sigma (T_{p,3}^{l+1})^3 \phi_i' \phi_\gamma' \Big|_{x=d} + \alpha_l \phi_i' \phi_\gamma' \Big|_{x=0} \right\} =$$

$$= \int_0^d c\rho \frac{(T_{p,3}^{l+1})}{\Delta t} T^l \phi_\gamma dx + \varepsilon \sigma T_{p,3}^4 \phi_\gamma \Big|_{x=d} + \alpha_l T_l \phi_\gamma \Big|_{x=0}, \gamma = \overline{0, n} \quad (14)$$

Для второй задачи для каждого момента времени и каждой итерации получим

$$\left\{ \begin{aligned} -\frac{\partial}{\partial x} (\lambda(T_{p+1,1}^{l+1}) (\frac{\partial T_{p+1,1}^{l+1}}{\partial x})^2 + c\rho (T_{p+1,1}^{l+1}) \frac{T_{p+1,2}^{l+1}}{\Delta t}) = c\rho (T_{p+1,1}^{l+1}) \frac{T^l}{\Delta t}, 0 < x < d \end{aligned} \right. \quad (15)$$

$$\left\{ \begin{aligned} -\lambda(T_{p+1,1}^{l+1}) \frac{\partial T_{p+1,2}^{l+1}}{\partial x} = \varepsilon \sigma \left[(T_{p+1,1}^{l+1})^3 T_{p+1,2}^{l+1} - T_{p,3}^4 \right], x = d \end{aligned} \right. \quad (16)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \lambda(T_{p+1,2}^{l+1}) \frac{\partial T_{p+1,2}^{l+1}}{\partial x} = \alpha_l (T_{p+1,2}^{l+1} - T_l), x = 0; \end{aligned} \right. \quad (17)$$

$$T_{p+1,2}^{l+1} = T_2 \quad (18)$$

Сведем задачи (15)-(18) к вариационным задачам о минимуме функционалов

$$I_{p+1,2}^{l+1} = \int_0^d \left[\lambda(T_{p+1,1}^{l+1}) (\frac{\partial T_{p+1,2}^{l+1}}{\partial x})^2 + c\rho (T_{p+1,1}^{l+1}) \frac{(T_{p+1,2}^{l+1})^2}{\Delta t} - \right.$$

$$\left. - 2c\rho (T_{p+1,1}^{l+1}) \frac{T^l}{\Delta t} T_{p+1,2}^{l+1} \right] dx + \left[\varepsilon \sigma (T_{p+1,1}^{l+1})^3 (T_{p+1,2}^{l+1})^2 - \right.$$

$$-2\varepsilon\sigma T_{\phi}^4 T_{p+1,2}^{l+1} \Big|_{x=d} + \left[\alpha_l (T_{p+1,2}^{l+1})^2 - 2\alpha T T_{p+1,2}^{l+1} \right] \Big|_{x=0} \quad (19)$$

Систему алгебраических уравнений для отыскания неопределенных компонент $C_{p+1,2,i}^{l+1}$ структур решений

$$T_{p+1,2}^{l+1} = \sum_{i=0}^n C_{p+1,2,i}^{l+1} \chi_i(\cdot)$$

вариационных задач (15) получим в виде

$$T_{p+1,2}^{l+1} = \sum_{i=0}^n C_{p+1,2,i}^{l+1} \left\{ \int_0^d (\lambda(T_{p+1,1}^{l+1}) \phi_i' \phi_i'' + c\rho \frac{(T_{p+1,1}^{l+1})}{\Delta t} \phi_i' \phi_i'') dx + \varepsilon\sigma (T_{p+1,1}^{l+1})^3 \phi_i' \phi_i'' \Big|_{x=d} + \alpha_l \phi_i' \phi_i'' \Big|_{x=0} \right\} = \int_0^d c\rho \frac{(T_{p+1,1}^{l+1})}{\Delta t} T_{p+1,2}^{l+1} \phi_i' dx + \varepsilon\sigma T_{\phi}^4 \phi_i' \Big|_{x=d} + \alpha_l T_{p+1,2}^{l+1} \phi_i' \Big|_{x=0}, \gamma = \overline{0, n} \quad (20)$$

$$T_{p+1,3}^{l+1} = 0,5 \left[T_{p+1,1}^{l+1} + T_{p+1,2}^{l+1} \right], 0 < x < d, \quad = 0,1,2,\dots, \quad = 0,1,2,\dots$$

Решение третьей задачи для каждого момента времени и каждой итерации представим в виде

$$T_{p+1,3}^{l+1} = 0,5 \left[T_{p+1,1}^{l+1} + T_{p+1,2}^{l+1} \right], 0 < x < d, \quad = 0,1,2,\dots, \quad = 0,1,2,\dots$$

Схема установки плазменных форсунок [3] на техническом вагоне представлена на рис.2



Рис.2. Схема установки плазменных форсунок на техническом вагоне.

Считаем, что три форсунки, установленные впереди колёс трамвая над каждой колеей на определённом расстоянии, охватывают полосу нагрева поверхности рельсового полотна длиной 2м. В табл.1 и 2 приведены зависимости температуры факела от скорости движения трамвая при нагреве поверхности рельсового полотна до 400⁰С и 800⁰С соответственно.

Выясним, за какое время горелка проедет вдоль масляного пятна на поверхности рельса

$$t = v/\psi, c$$

где v - диаметр пятна, м; ψ - скорость движения, м/с;

$t = s/\psi$; где s - путь, км;

Таблица 1. Зависимость температуры плазменного факела от скорости движения подвижной единицы при нагреве рельсового полотна до 400⁰С(127К).

V, км/час	t, сек	T, К	V, км/час	t, сек	T, К
1	3,6	2772	35	0,1029	4327
2	1,8	3022	40	0,09	4400
3	1,2	3180	45	0,08	4466
4	0,9	3296	50	0,072	4526
5	0,72	3389	55	0,0655	4581
6	0,6	3468	60	0,06	4631
7	0,5143	3535	65	0,0554	4679
8	0,45	3595	70	0,05414	4723
9	0,4	3649	75	0,048	4764
10	0,36	3697	80	0,045	4804
15	0,24	3890	85	0,0424	4841
20	0,18	4033	90	0,04	4876
25	0,144	4147	95	0,0379	4910
30	0,12	4244	100	0,034	4942

Согласно табл. 1 построим график данной зависимости [рис.3]

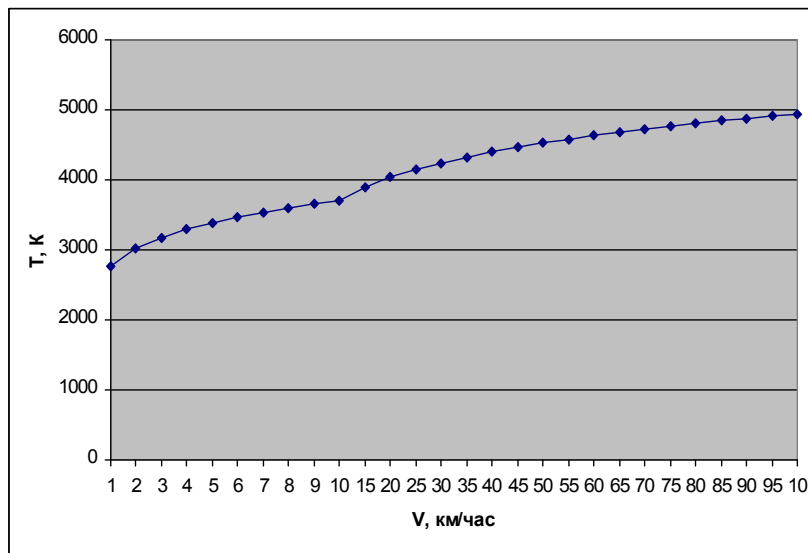


Рис.3. График зависимости температуры плазменного факела от скорости движения подвижной единицы

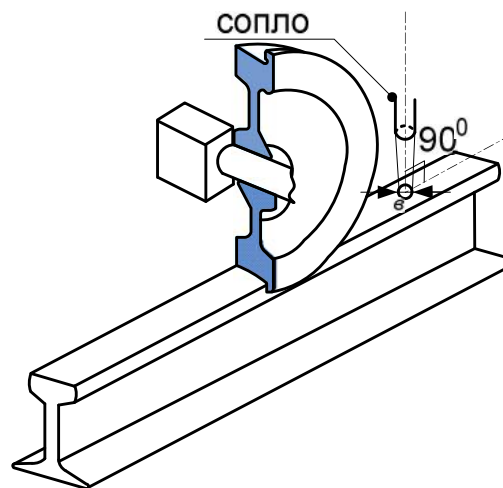


Рис.4. Высокотемпературное нагревание поверхности рельса

Допустим, что горелка расположена под углом 90⁰ относительно рельса (рис.4)

Определим время прохождения масляного пятна при движении со скоростью 1,2,3,4,5,60,100 км/час. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Время теплового воздействия на пятно контакта ϵ .

$\epsilon = 5\text{мм}$							
ν , км/ч	1	2	3	4	5	60	100
t , 10^{-3}с	18	8,92	6	4,5	3,6	0,3	0,18
$\epsilon = 12,5\text{мм}$							
ν , км/ч	1	2	3	4	5	60	100
t , 10^{-3}с	45	22,5	15	11,24	9	0,7	0,45
$\epsilon = 18,75\text{мм}$							
ν , км/ч	1	2	3	4	5	60	100
t , 10^{-3}с	67,4	33,7	22,5	16,8	13,5	1,1	0,67

Сопоставив данные температур, убеждаемся, что максимальная температура газовой горелки (5000°C) недостаточна для прогрева рельса за столь короткое время, поэтому применяем плазменную горелку с $t_{\text{max}}=13000^{\circ}\text{C}$ и с предельно допустимой температурой нагрева рельсового полотна до 800°C .

Для того, чтобы нагреть рельс до 800°C в течение времени, указанного в табл.3, требуется определить температуру плазменного факела из решения обратной нелинейной нестационарной задачи (15)-(18), которая решались в системе для программирования Delphi 7, в программе Tram.

Таблица 3. Оптимальная температура плазменного факела воздействующего на масляное пятно при нагреве рельсового полотна до 800°C для разных скоростей движения рельсового транспорта.

$\epsilon = 5\text{мм}$							
ν , км/ч	1	2	3	4	5	60	100
t , с	0,18	0,009	0,006	0,0045	0,0036	0,003	0,0018
$T_{\text{плазмы}}$, К	6255,371	6862,793	7246,582	7523,438	7750,244	10772,217	11589,6
$\epsilon = 12,5\text{мм}$							
ν , км/ч	1	2	3	4	5	60	100
t , с	0,045	0,0225	0,015	0,01125	0,009	0,00075	0,00045
$T_{\text{плазмы}}$, К	5577,148	6085,449	6401,367	6648,682	6862,793	9688,477	10155,029
$\epsilon = 18,75\text{мм}$							
ν , км/ч	1	2	3	4	5	60	100
t , с	0,0675	0,03375	0,0225	0,016875	0,0135	0,001125	0,000675
$T_{\text{плазмы}}$, К	5296,753	5785,278	6085,571	6306,03	6489,136	9142,09	9838,867
$\epsilon = 25\text{мм}$							
ν , км/ч	1	2	3	4	5	60	100
t , с	0,09	0,045	0,03	0,0225	0,018	0,0015	0,0009
$T_{\text{плазмы}}$, К	5109,802	5577,087	5869,507	6085,571	6255,127	8768,066	9436,523
$\epsilon = 50\text{мм}$							
ν , км/ч	1	2	3	4	5	60	100
t , с	0,18	0,09	0,06	0,045	0,036	0,003	0,0018
$T_{\text{плазмы}}$, К	4684,448	5109,985	5377,96	5577,148	5738,525	7945,068	8539,673

Результаты расчёта приведены ниже в виде графиков

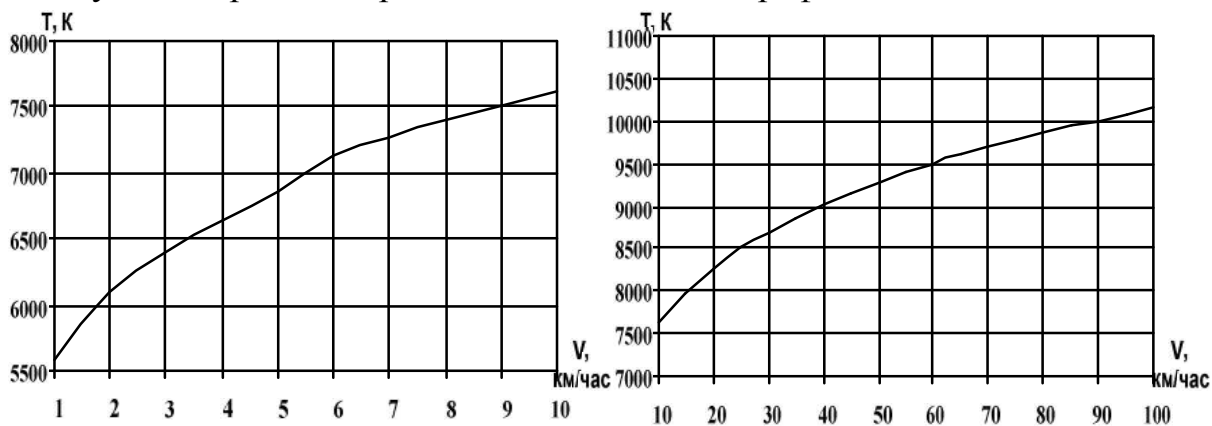


Рис.5. Зависимость температуры плазменного факела от скорости движения рельсового транспорта при диаметре масляного пятна 0.0125 м.

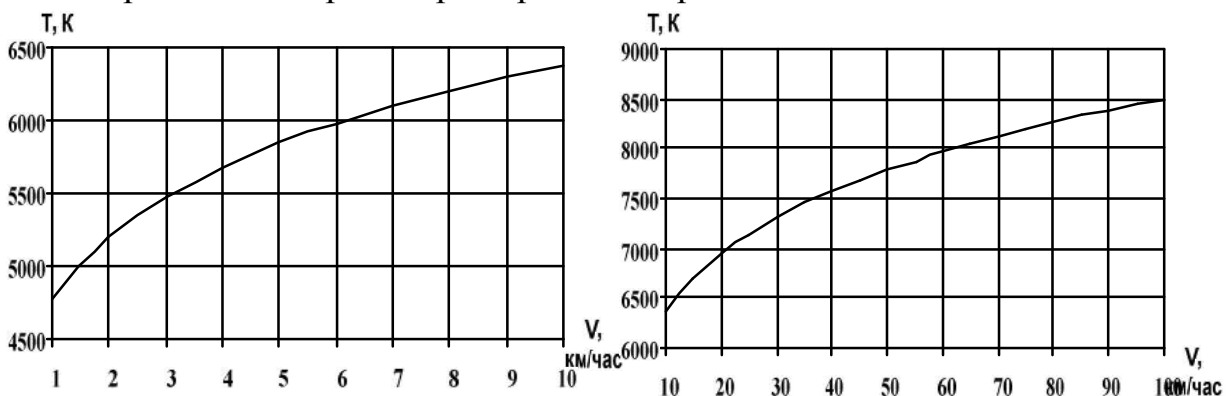


Рис.6. Зависимость температуры плазменного факела от скорости движения рельсового транспорта при диаметре масляного пятна 0.05 м.

Выводы

Разработка в данной статье новых технологических подходов к управляемой многоступенчатой термообработке поверхности рельсового полотна позволяет избежать появления микротрещин на поверхности полотна, как часто бывает при «жестких» тепловых ударах, то есть «жесткой» термообработки поверхности полотна. Это позволяет создавать неразрушающие технологии термообработки как поверхности рельсового полотна, так и поверхностей элементов конструкций, нуждающихся в очистке поверхностей от дисперсных загрязнений и масляных налетов.

Список литературы: 1. Лазерная очистка поверхности катания рельсов [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.css-rzd.ru/ZDM/2005-02/dm02_05_sod.htm. 2. Слесаренко А.П. Идентификация нелинейной нестационарной зависимости мощности источника энергии от температуры на базе вариационно-структурного и проекционных методов [Текст]/ А.П. Слесаренко, Н.А. Сафонов – Х.: Журн. Проблемы машиностроения.-2010.-Т.13.-№6.-С.58-63. 3. Протибуксовочный пристрій [Текст]: пат.56706 UA: МПК В60L 3/10./О.О. Верхуша, А.Г. Тарновецька.- u201008159; заявл.30.06.10; опубл.25.01.11, Бюл. №2.- 4с.

Поступила в редколлегию 17.10.2011