

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-5-108-117

*\*Нейман В.А., Воронцов Д.С.**Сибирский государственный университет путей сообщения**\*E-mail: Flinston154@yandex.ru*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ РЕЛЬСОВОЙ ПЛЕТИ ПРИ ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

**Аннотация.** Актуальность темы обусловлена возрастающими требованиями к поддержанию верхнего строения пути (ВСП) в работоспособном состоянии, одним из основных показателей которого является миллион тонн-километров, что в свою очередь требует более глубокие исследования поведения ж/д путей не только в процессе их эксплуатации, но и в процессе укладки (ремонта). При этом на данный момент практически отсутствует технология, позволяющая повысить производительность и качество выполняемых работ в летний период при условии нахождения рельса в температурном интервале вне допустимого.

Статья посвящена созданию методики расчета процесса охлаждения рельсовой плети, определению времени ее охлаждения от начальной температуры 70 °С до температуры закрепления 35 °С при естественных условиях (на воздухе, без воздействия источников охлаждения). Приведена методика расчета нестационарного двумерного температурного поля рельсовых плетей при охлаждении. Для расчета методом конечных разностей была написана версия программы на языке программирования Visual Basic, которая впоследствии сопоставлена с SolidWorks Simulation. В результате расчетов выяснено, что оригинальное ПО не уступает в качестве достоверности полученных результатов зарубежному аналогу. А также установлено, что процесс, протекающий при поставленных условиях, имеет определенную инерционность и для некоторых участков начинается спустя определенный промежуток времени. Расчетные данные были сопоставлены между собой с использованием графического метода.

**Ключевые слова:** бесстыковой путь, охлаждение рельса, ввод рельсов в температуру закрепления, математическое моделирование, метод конечных разностей

**Введение.** Железнодорожный путь является сложной технической системой из множества элементов, одним из которых является рельс (рельсовая плеть). На всех этапах жизненного цикла путь, как и рельсовая плеть, испытывают различные нагрузки как механические, так и температурные. При этом очевидно, что именно рельсовая плеть, имеющая очень большие линейные размеры, испытывает высокие нагрузки в следствие изменения температуры внешней среды.

Для безопасной работы ВСП необходимо чтобы рельс при закреплении имел температуру, которая определяется климатической зоной укладки железнодорожного пути – температура закрепления рельсовой плети.

В связи с тем, что работы по ремонту, содержанию и строительству железнодорожного пути в основном производят в летний период – на данный момент существует проблема высокотемпературного состояния рельсовых плетей, препятствующая их укладке в рельсошпальную решетку. Рельсовая плеть подвергается интенсивной солнечной радиации, в результате чего достигает температуры в регионах Сибири и Дальнего Востока, относящимся к регионам с высокими годовыми амплитудами температур рельсов, которые на отдельных участках могут дости-

гать 120 °С. Для обеспечения прочности и устойчивости бесстыкового пути все вновь укладываемые плети должны закрепляться при оптимальной температуре. Для Западно-Сибирского региона оптимальная температура закрепления составляет  $30 \pm 5$  °С [1–4].

Поэтому в настоящее время для выхода из такой ситуации работы в основном начинают производить либо ближе к осеннему периоду, с моментом снижения среднесуточной температуры окружающей среды и минимизации воздействия на рельсовые плети солнечной радиации, либо в раннее время суток, когда температура рельсов снижается за ночь до необходимых значений.

Для обеспечения эффективного охлаждения рельсов могут применяться различные методы, такие как контролируемое воздействие охлаждающими средами, воздушное охлаждение, водное и др. Главной целью охлаждения в данном случае является обеспечение контролируемого процесса, чтобы добиться равномерного распределения температуры по всему сечению.

В [5, 6] представлено обоснование необходимости создания установки и предложена модель воздействия на плети охлаждающим воздушным потоком. Объективной основой по созданию модели данного действия является выведе-

дение методики расчета и создание модели процесса без воздействия посторонних сил, способствующими его ускорению.

Исходя из этого, целью проводимых исследований является выведение методики расчета охлаждения рельсовых плетей. Для этого при расчете численным методом приняты некоторые допущения: для упрощения математической модели на данном этапе рассматривается охлаждение отдельных участков рельса (головка, шейка и подошва); в процессе охлаждения солнечная радиация и ветер отсутствуют; температура окружающей среды 35 °С.

**Методы и материалы.** Исходными данными служат габаритные размеры рельса по сечению Р65 (Р75), его теплофизические характеристики (коэффициент теплопроводности  $\lambda = 40$  [Вт/(м·К)]; коэффициент конвективной теплопередачи  $\alpha = 20$  [Вт/(м<sup>2</sup>·К)]; начальная температура рельса 70 [°С]) и температура закрепления рельсовой плети (35 [°С]) [7–11].

Для определения времени охлаждения необходимо решить задачу нестационарной теплопроводности тела, т.е. задачу математической физики. Как известно, такая задача может быть явно решена лишь для тел такой формы, которая допускает разделение переменных в уравнении теплопроводности, что позволяет свести решение уравнения в частных производных к решению одного или нескольких обыкновенных дифференциальных уравнений. К этим телам (применительно для решения задач теплопроводности рельса) относятся тела простой формы – бесконечная пластина и бесконечный круговой цилиндр. Поэтому для решения данной задачи рельс разделен на 3 области, представляющие собой простейшие геометрические формы: шейка и подошва рельса – бесконечная пластина, головка – бесконечный цилиндр.

Метод конечных разностей представляет собой численный метод решения дифференциальных уравнений и основан на замене производных их приближенным значением, выраженным через разности значений функции в отдельных дискретных точках – узлах сетки. Дифференциальное уравнение теплопроводности в результате таких преобразований заменяется эквивалентным соотношением в конечных разностях, решение которого сводится к выполнению простейших алгебраических операций. Окончательный результат решения представляет из себя выражение, определяющее значение температуры в данной точке в текущий момент времени, зависящее от температур ее смежных узловых точек в предыдущий момент времени [12].

**Основная часть.** Задача звучит следующим образом: рельс в начальный момент времени

имеет симметричное распределение температур по сечению, зависящих от его геометрии. Теплоотвод во внешнюю среду происходит на поверхности рельса с постоянной температурой. Температура изменяется как функция времени.

Форма рельса может быть аппроксимирована системой уравнений, состоящей из уравнения для головки рельса (круга), уравнения для шейки рельса (прямоугольника) и уравнения для подошвы рельса (прямоугольника). Эти уравнения ограничивают допустимые значения координат  $(x, y)$  в сечении рельса в зависимости от формы рельса.

С учетом вышеописанных допущений начально-краевая задача теплопроводности для рельса может быть описана следующей системой уравнений:

1. Для головки рельса в полярных координатах  $(r, \theta)$  [13]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} \right), \quad (1)$$

где  $T(r, \theta, t)$  – температура в головке рельса,  $\alpha$  – коэффициент теплопроводности.

2. Для шейки и подошвы рельса в декартовых координатах  $(x, y)$ :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right), \quad (2)$$

где  $T(x, y, t)$  – температура в шейке и подошве рельса.

Здесь мы предполагаем, что теплопроводность во всех областях рельса одинакова и обозначаем ее как  $\alpha$ .

Эта система уравнений описывает изменение температуры в головке, шейке и подошве рельса в зависимости от времени и координат. Решение этой системы уравнений позволит определить распределение температуры внутри рельса в зависимости от времени и координат, что имеет важное значение для анализа тепловых процессов и принятия мер для обеспечения безопасности и эффективности работы железнодорожного транспорта.

Для головки рельса, используя центральные разности, получим следующую аппроксимацию:

$$\frac{\partial T}{\partial t} \approx \frac{T_{i,j}^{n+1} - T_{i,j}^n}{\Delta t}, \quad (3)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) \approx \frac{1}{r_i} \left( \frac{r_{i+\frac{1}{2}} T_{i+1,j} - r_{i-\frac{1}{2}} T_{i-1,j}}{\Delta r} \right), \quad (4)$$

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} \approx \left( \frac{T_{i,j+1} - 2T_{i,j} + T_{i,j-1}}{\Delta \theta^2} \right), \quad (5)$$

где  $T_{i,j}^n$  – значение температуры в узле  $(r_i, \theta_j)$  в момент времени  $t^n$ ;  $\Delta r$  – шаг по радиусу;  $\Delta \theta$  – шаг по углу.

Для шейки рельса и подошвы рельса, используя центральные разности, получим следующую аппроксимацию:

$$\frac{\partial T}{\partial t} \approx \frac{T_{i,j}^{n+1} - T_{i,j}^n}{\Delta t}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \approx \frac{T_{i,j+1} - 2T_{i,j} + T_{i,j-1}}{\Delta x^2}, \quad (7)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \approx \frac{T_{i,j+1} - 2T_{i,j} + T_{i,j-1}}{\Delta y^2}, \quad (8)$$

где  $T_{i,j}$  – значение температуры в узле  $(x_i, y_j)$  в момент времени  $t^n$ .

$$\frac{T_{i,j}^{n+1} - T_{i,j}^n}{\Delta t} = \frac{1}{r_i} \left( \frac{r_{i+1/2} T_{i+1,j} - r_{i-1/2} T_{i-1,j}}{\Delta r} \right) + \frac{T_{i,j+1} - 2T_{i,j} + T_{i,j-1}}{\Delta \theta^2}, \quad (9)$$

Для шейки и подошвы рельса, используя полученные аппроксимации, получаем следующую систему разностных уравнений:

$$\frac{T_{i,j}^{n+1} - T_{i,j}^n}{\Delta t} = \frac{T_{i,j+1} - 2T_{i,j} + T_{i,j-1}}{\Delta x^2} + \frac{T_{i,j+1} - 2T_{i,j} + T_{i,j-1}}{\Delta y^2}, \quad (10)$$

$$T_{i,j}^{n+1} = T_{i,j}^n + \alpha \Delta t \left( \frac{1}{r_i} \left( \frac{r_{i+1/2} T_{i+1,j}^n - r_{i-1/2} T_{i-1,j}^n}{\Delta r} \right) + \frac{T_{i,j+1}^n - 2T_{i,j}^n + T_{i,j-1}^n}{\Delta \theta^2} \right), \quad (11)$$

где  $T_{i,j}^{n+1}$  – значение температуры в узле  $(r_i, \theta_i)$  в момент времени  $t^n$ ,  $\alpha$  – коэффициент теплопроводности:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho c_p} \quad (12)$$

– шейка и подошва рельса:

$$T_{i,j}^{n+1} = T_{i,j}^n + \alpha \Delta t \left( \frac{T_{i+1,j}^n - 2T_{i,j}^n + T_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} + \frac{T_{i,j+1}^n - 2T_{i,j}^n + T_{i,j-1}^n}{\Delta y^2} \right), \quad (13)$$

где  $T_{i,j}^{n+1}$  – значение температуры в узле  $(x_i, y_j)$  шейки или подошвы рельса в момент времени  $t^n$ .

В полученной модели предусматривается учет температурной зависимости теплофизических коэффициентов, а также можно получить распределение температуры в произвольный момент времени в произвольном сечении.

Также у модели присутствует существенный недостаток: не предусмотрено наложение температурных полей различных участков рельса.

Излучательная способность атмосферы, определяемая по формуле Ангстрема с эмпирическими коэффициентами из [14, 15], лежит в пределах от 0,57 до 0,82.

Для решения системы уравнений теплопроводности, описывающей изменение температуры внутри рельса в зависимости от времени и координат, можно использовать численные методы, такие как метод конечных разностей.

Для определения распределения температурного поля рельса (решения полученной системы уравнений) алгоритм выглядит следующим образом:

1. Задать начальные условия: определить начальное распределение температуры внутри рельса в момент времени  $t = 0$ . Это может быть, например, равномерное распределение температуры или заданное аналитическое выражение для начального распределения.

2. Задать граничные условия: определить значения температуры на границах рельса в каждый момент времени. Граничные условия могут

Таким образом, аппроксимация уравнения теплопроводности и граничных условий позволяет составить систему уравнений, которую можно решить численно для определения распределения температуры вдоль рельса в зависимости от времени.

Для головки рельса, используя полученные аппроксимации, получаем следующую систему разностных уравнений:

Исходя из этого, оставлена система линейных алгебраических уравнений:

– головка рельса:

быть заданы, например, как фиксированные значения температуры на границах или как функции времени и координат.

3. Разбить область рельса на сетку: разбить сечение рельса на сетку, используя шаги по времени и координатам. Шаги выбираются таким образом, чтобы обеспечить точность и устойчивость численного решения.

4. Аппроксимировать производные: заменить производные в уравнениях теплопроводности аппроксимациями с использованием разностных схем. Например, можно использовать центральные разности для аппроксимации вторых производных.

5. Составить систему уравнений: на основе аппроксимированных производных составить систему разностных уравнений, соответствующих уравнениям теплопроводности для каждой области рельса (головка, шейка, подошва).

6. Решить систему уравнений: решить полученную систему разностных уравнений численно, используя итерационные или прямые методы решения систем линейных уравнений. Для этого можно использовать, например, метод Гаусса или метод прогонки.

7. Повторить шаг 6 для каждого временного шага: продолжать итерацию по временным шагам, обновляя значения температуры на сетке на каждом шаге, пока не будет достигнуто требуемое время.

8. Получить решение: после завершения итераций по временным шагам получить численное решение, представляющее распределение

температуры внутри рельса в зависимости от времени и координат.

При решении задачи мы будем использовать аппроксимированную форму рельса Р65, габариты которого согласно стандарту, следующие:

- высота шейки  $W = 150$  мм;
- толщина шейки  $H = 18$  мм;
- радиус головки  $R = 70$  мм;
- толщина подошвы  $T = 150$  мм;
- высота подошвы  $U = 23$  мм.

Для численного решения системы уравнений теплопроводности с использованием метода конечных разностей разобьем сечение рельса на сетку, используя шаги по времени и координатам. Затем, мы аппроксимируем производные в уравнениях теплопроводности с использованием разностных схем и составим систему разностных уравнений для каждой области рельса.

За начальные условия принято распределение температуры по всему рельсу равное  $70$  °С.

Для простоты выберем одинаковые шаги по оси  $x$  и  $y$ , обозначим их как  $\Delta x$  и  $\Delta y$  соответственно. Также выберем шаг по времени  $\Delta t$ .

Далее в программе Microsoft Excel для каждого участка рельса (головки, шейки и подошвы) была произведена визуализация в табличной форме. Участок был поделен на равные части с шагом  $\Delta x$  и  $\Delta y$  – для шейки и подошвы,  $\Delta \tau$  и  $\Delta \theta$  – для головки.

Расчет проводился в программе Microsoft Excel итерационным методом. С использованием языка программирования Visual Basic написанная программа пошагово решала поставленную задачу для каждого элемента рельса в отдельности (головки, шейки и подошвы). Архитектура программы представлена в виде блок-схемы на рисунке 1.

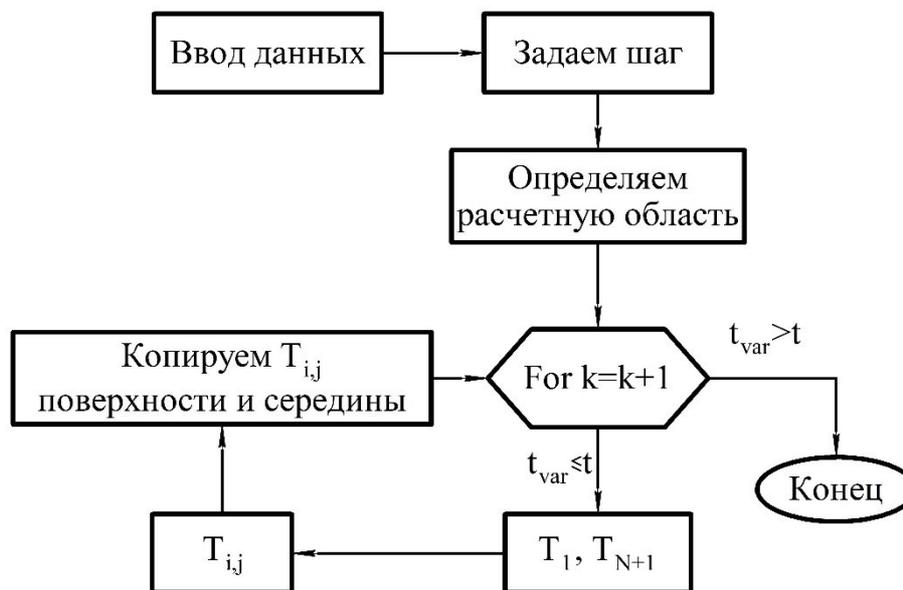


Рис. 1. Архитектура программы в Visual Basic для расчета участков рельсовой плиты методом конечных разностей

Программа состоит из 4х последовательно-зависимых друг от друга модулей. Первый модуль реализует запрос данных с листа Microsoft Excel для дальнейшего присвоения переменным численных значений, иными словами, задаются теплофизические и геометрические параметры системы. Затем программа определяет шаг по координатам и времени, которые заранее выбраны и введены в соответствующие ячейки листа с учетом желаемой точности получения результатов. Следующим шагом является присвоение программе расчетной области, заранее определенной массивом данных, определяющим желаемое начальное распределение температурного поля участка рельса с учетом выбранных  $\Delta x$  и  $\Delta y$ .

Следующий блок является расчетным. В нем программа приступает к итерационному расчету температуры для каждой ячейки. Сперва определяется температура на границах, затем для всех остальных ячеек.

В данный блок заложена возможность копирования значений температуры для их последующей обработки и представления результатов в графическом виде. Копирование может выполняться как каждый расчетный цикл, так и существует возможность выбора периодичности для предупреждения разгрузки системы при работе, а, следовательно, и повышению производительности. Чем больше значение периодичности, тем

ниже точность полученных промежуточных значений.

При достижении  $t_{var} = t_{var} + dt$  значения необходимого времени расчета или достижения распределения температуры на поверхности или в центре (задается любое значение, удовлетворяющее расчетный промежуток температур) программа завершает расчет.

Результаты данных расчетов представлены в виде графиков распределения температурного поля точек, представляющих наибольший интерес. Центры участков подвержены в наименьшей степени охлаждению и, в связи с этим, имеют наибольший практический интерес (рис. 2 и 3).

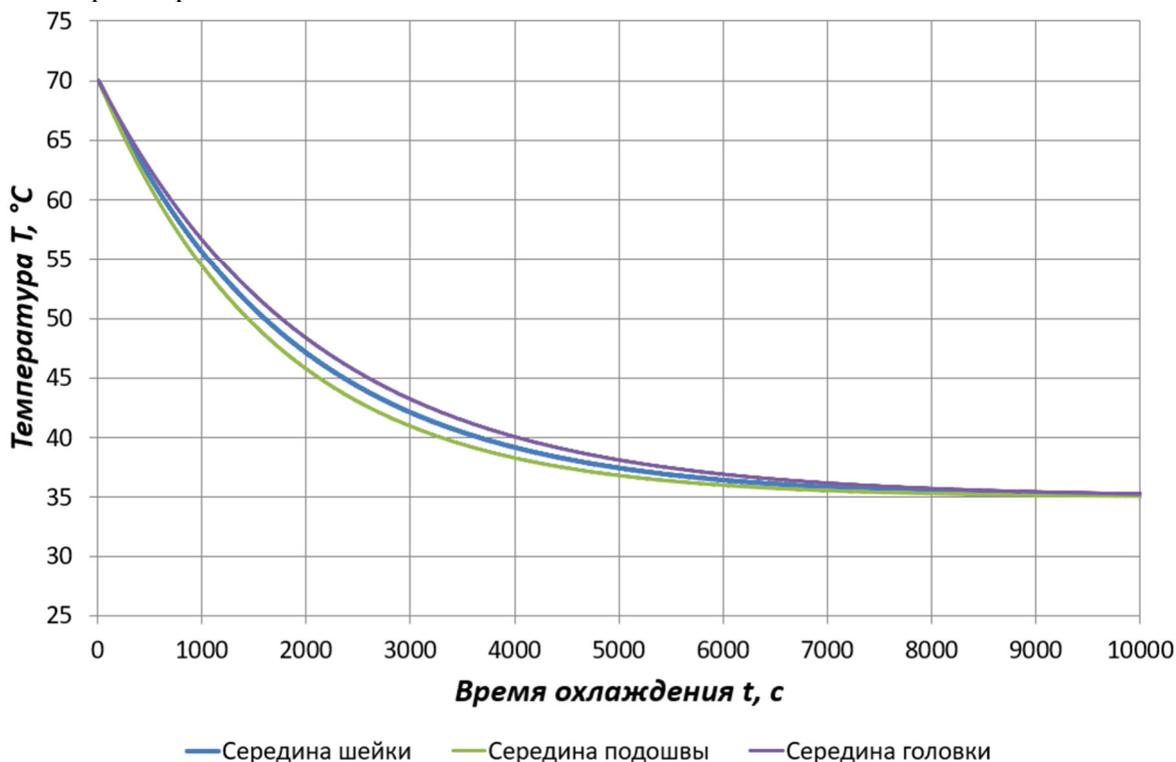


Рис. 2. Кривые полного цикла охлаждения рельса

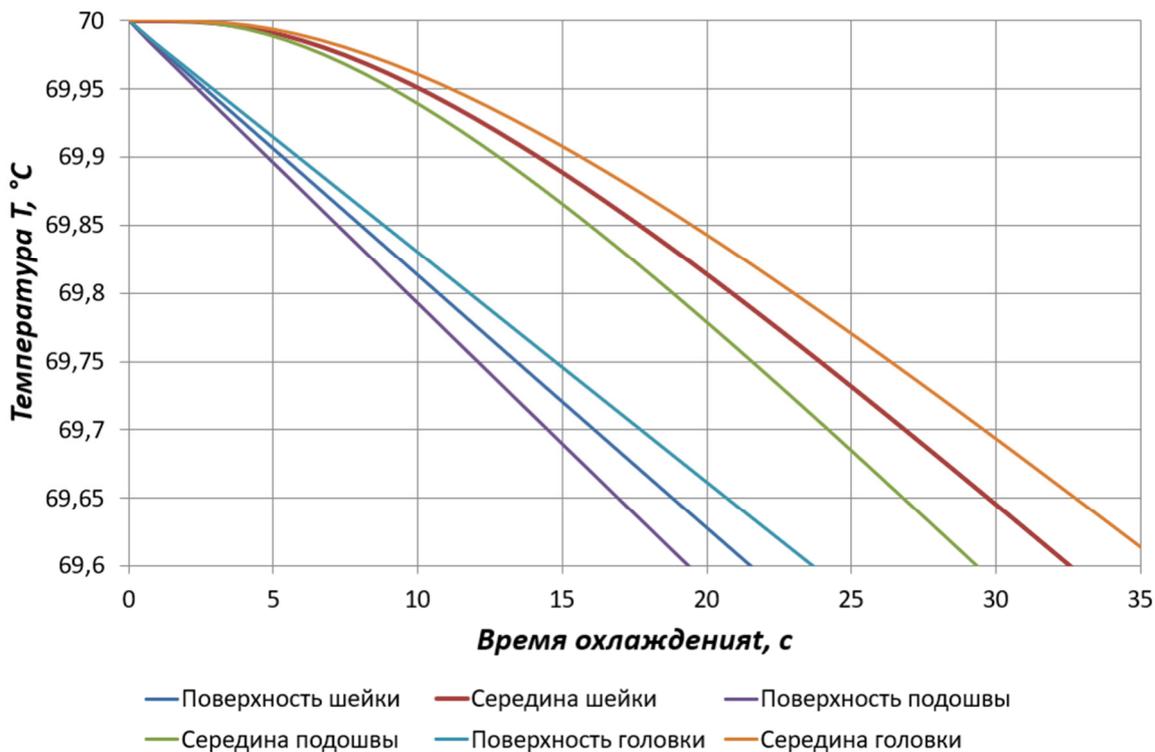


Рис. 3. Кривые начала охлаждения рельса

Для расчета с использованием компьютерных программ была поставлена задача охлаждения рельсовой плиты в САЕ-системе SolidWorks Simulation. В данной среде проводилось моделирование температурного поля охлаждения рельса на воздухе с использованием коэффициента конвективной теплоотдачи и температурой окружающей

среды 35°C. Результаты расчета представлены в виде эюры распределения температурного поля сечения рельса (рис. 4), а также в виде графиков (рис. 5 и 6), отображающего время падения температуры «опасного» узла головки рельса.

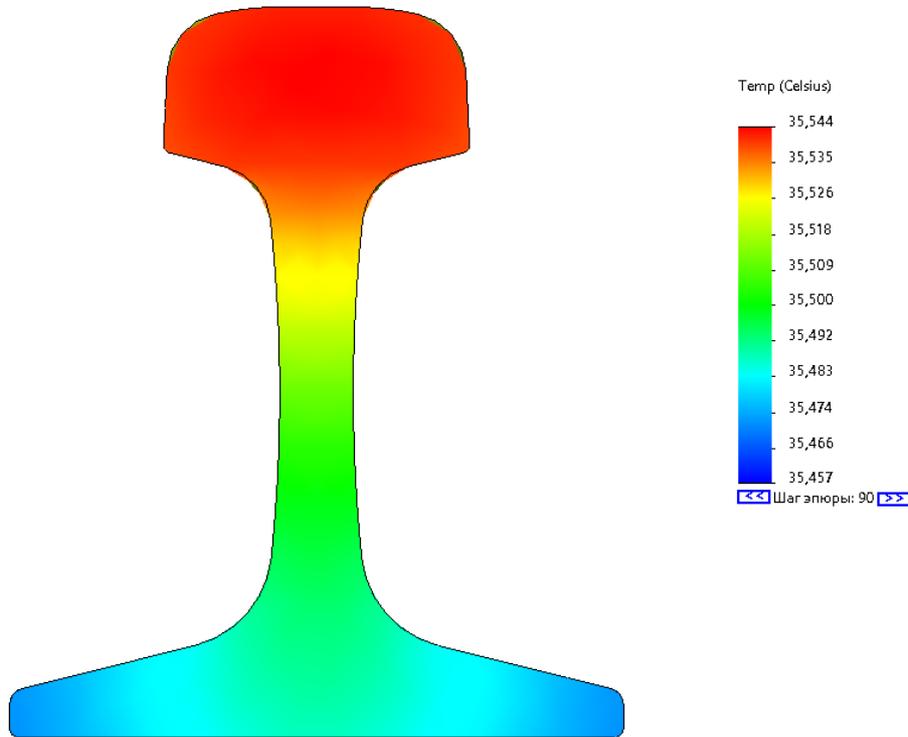


Рис. 4. Распределение температурного поля сечения рельсовой плиты в момент времени 9000 с при коэффициенте конвективной теплоотдачи 20 Вт/м<sup>2</sup>

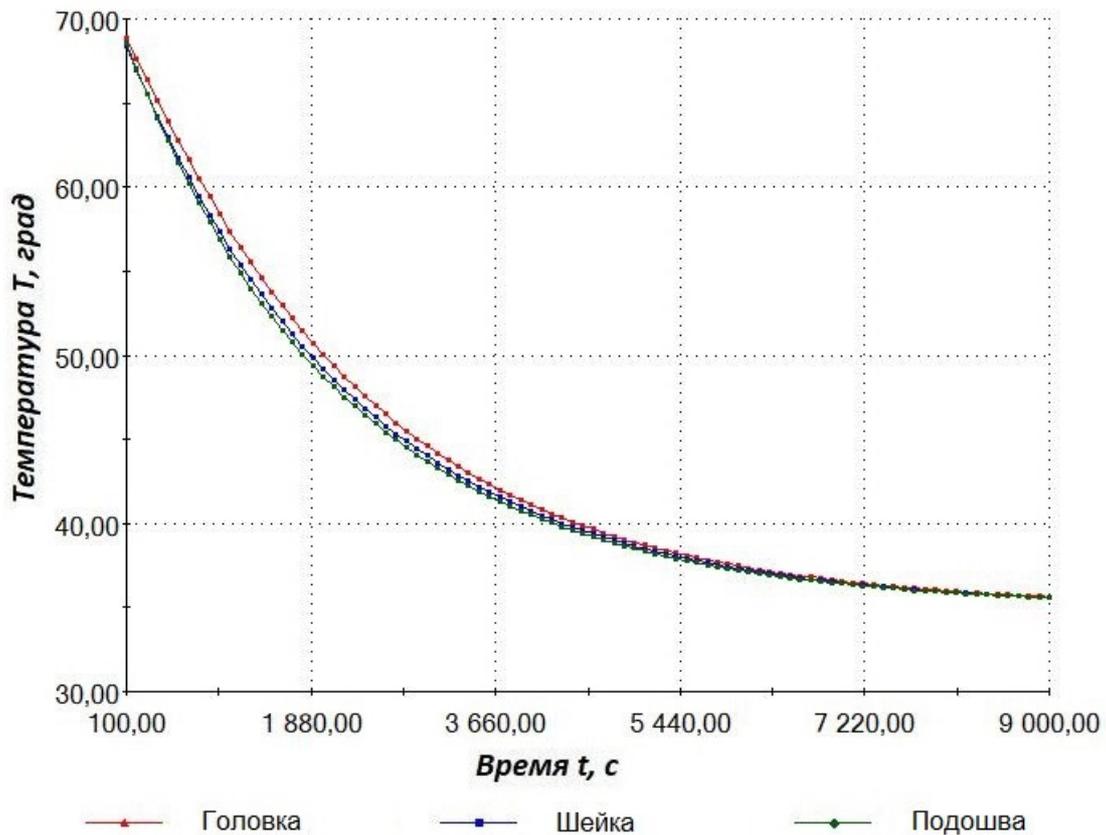


Рис. 5. График распределения температуры из SolidWorks Simulation (по рис. 3)

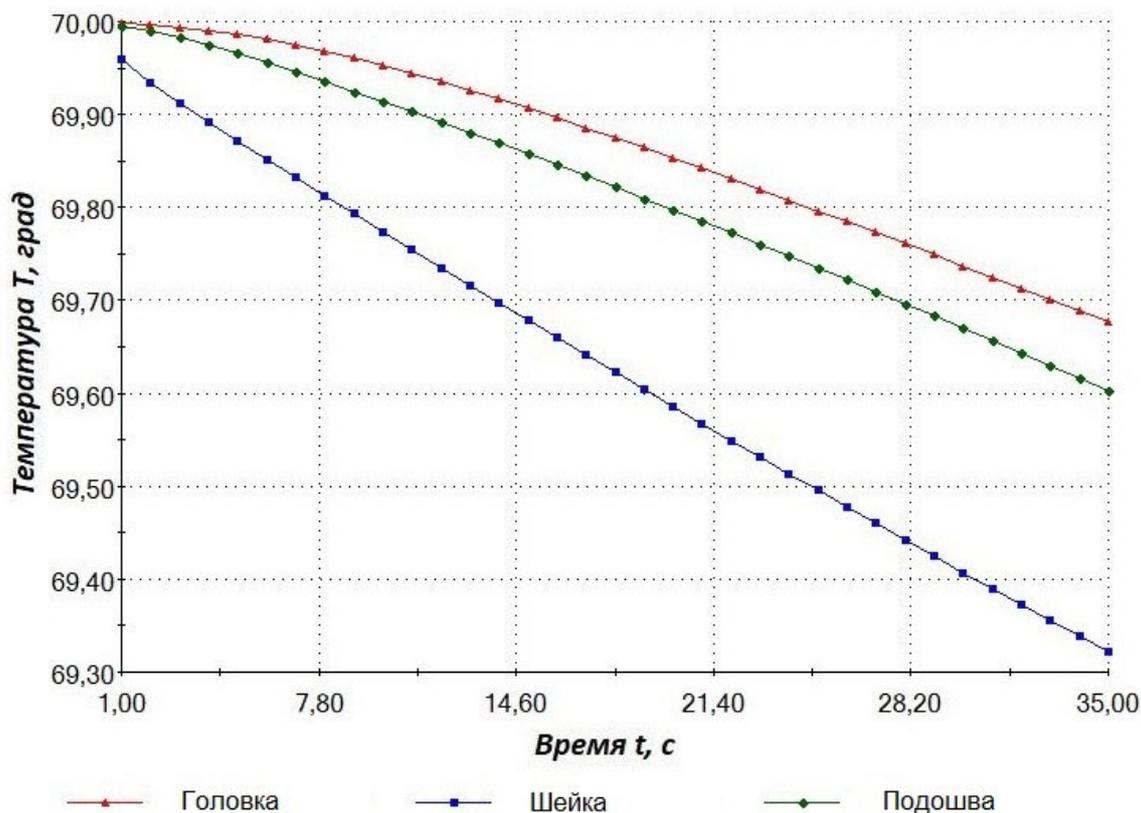


Рис. 6. Кривые начала процесса охлаждения из SolidWorks Simulation

**Выводы.** Рассмотренный подход к определению времени охлаждения рельса представляет практический интерес, прежде всего для организации безопасности движения в области грузовых и пассажирских перевозок железнодорожным транспортом. Созданная математическая модель является предпосылкой к моделированию с использованием посторонних источников охлаждения рельса для определения необходимых теплофизических параметров установок для ввода рельсовых плетей в температуру закрепления.

Из проведенных исследований согласно рис. 2 и 5 видно, что процессы, протекающие при данных симуляциях (процесс естественного охлаждения рельса), имеют схожую зависимость, практически не отличающуюся по времени. Из рис. 3 и 6 видно, что процессы в каждом моделируемом случае имеют определенную инерционность, и начинается спустя время.

Полученные расчетные данные в результате реализации предложенной новой методики требуют лабораторного экспериментального подтверждения (создание модели с учетом внешних факторов с дальнейшим усложнением до принудительного охлаждения и совершенствования математической модели).

Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод о том, что выведенная методика имеет

практическую ценность и склонность к дальнейшей доработке, а именно: введение в модель источников принудительного охлаждения с целью значительного сокращения времени охлаждения рельса.

Таким образом, можно говорить о том, что охлаждение рельсовых плетей естественным путем возможно в следующих условиях: скорость охлаждения не влияет на производственный процесс, связанный с работами, проводимыми на соответствующем участке пути; отсутствие воздействия на рельсовую плетть прямого солнечного облучения (ночное время суток).

Все это говорит о необходимости создания специальных условий, обеспечивающих принудительное охлаждение рельсовых плетей до требуемых температур при их укладке, что позволит повысить производительность работ по капитальному ремонту пути или укладке новой рельсошпальной решетки. При этом разрабатываемая технология охлаждения, в первую очередь, должна обладать достаточно высокой эффективностью и при этом быть экологичной.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Николаенко А.А., Гербер А.Р. Содержание бесстыкового пути в суровых климатических условиях // Вестник Сибирского

государственного университета путей сообщения. 2007. № 16. С. 85–91.

2. Крейнис З.Л. Бесстыковой путь. Как устроен и работает бесстыковой путь. М.: Маршрут, 2005. 472 с.

3. Альбрехт В.Г., Бромберг Е.М., Зверев Н.Б., Шульга В.Я., Чирков Н.С. Бесстыковой путь. под ред. В.Г. Альбрехта, Е.М. Бромберга. Москва: Транспорт, 1982. 206 с.

4. Тайц Н.Ю. Технология нагрева стали. М.: Металлургиздат, 1950. 450 с.

5. Нейман В.А., Саклаков А.А. Обоснование принципиальной схемы мобильного охлаждающего оборудования для ввода рельсовых плетей в температуру закрепления // Современные технологии: актуальные вопросы теории и практики: сборник статей III Международной научно-практической конференции, Пенза, 30 мая 2022 года. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2022. С. 39–42.

6. Neyman V.A. Mobile cooling device for the introduction of rail strips into the temperature corridor of fastening // Современная наука, общество и образование: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей IV Международной научно-практической конференции, Пенза, 12 января 2023 года. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. С. 48–51.

7. Гильмутдинов С.А., Стоянович Г.М. Тепловой баланс рельса // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2020. № 2(23). С. 24–27.

8. Амадуни А.Н. Методы и приборы для определения температурных коэффициентов линейного расширения материалов. М., Изд-во стандартов, 1972. 140 с.

9. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии: Физика атмосферы (для вузов по специальности «Метеорология»). Ленинград: Гидрометеоздат, 1984. 2-е изд., перераб. и доп. 751 с.

10. Петухова Б.С., Шикова В.К. Справочник по теплообменникам: в 2 т. Т. 1 / пер. с англ. под ред., Москва: Энергоатомиздат, 1987. 559 с.

11. Стоянович Г.М., Пупатенко В.В., Гильмутдинов С.А. Влияние физических параметров рельсовой стали на изменение зазоров в уравнильном пролете бесстыкового пути // Проектирование развития региональной сети железных дорог: сб. науч. тр.; под ред. В.С. Шварцфельда. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2019. № 7. С. 92–100.

12. Шабуров А. Д., Мирзаев Д. А. Расчет и моделирование охлаждения крупных поковок // Вестник ЮУрГУ. Серия: Metallurgy. 2011. №36 (253). С. 66–69.

13. Самарский А.А. Теория разностных схем. М.: Наука, 1977. 656 с.

14. Спэрроу Е.М., Сесс Р.Д. Теплообмен излучением; пер. с англ. С.З. Сориц и Л.М. Сорокопуда; под ред. А.Г. Блоха. Ленинград: Энергия. Ленинградское отделение, 1971. 294 с.

15. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. Ленинград: Гидрометеоздат, 1968. 232 с.

#### Информация об авторах

**Нейман Вячеслав Александрович**, аспирант кафедры подъемно-транспортные, путевые, строительные и дорожные машины. E-mail: Flinston154@yandex.ru. Сибирский государственный университет путей сообщения. Россия, 630049, Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, д. 191.

**Воронцов Денис Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент подъемно-транспортные, путевые, строительные и дорожные машины. E-mail: den.sv78@ya.ru. Сибирский государственный университет путей сообщения. Россия, 630049, Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, д. 191.

Поступила 19.03.2024 г.

© Нейман В.А., Воронцов Д.С., 2024

**\*Neyman V.A., Vorontsov D.S.**

*Siberian transport university*

*\*E-mail: Flinston154@yandex.ru*

## SIMULATION OF THE COOLING PROCESS OF RAILWAYS UNDER NATURAL CONDITIONS

**Abstract.** The relevance of the topic is confirmed by the increasing needs due to increased research of railway tracks in terms defined in millions of tons-kilometers; this affects the need to maintain the upper structure of the track (UST) in working condition. And it, in turn, depends on the technology and its observance when laying the railway track. At the same time, there is practically no technology that allows to increase the

productivity and quality of work performed in the summer period, provided that the rail is located in the temperature range outside the permissible range. The article is devoted to the creation of a methodology for calculating the cooling process of a rail lash, determining its cooling time from an initial temperature of 70 °C to an ambient temperature of 35 °C under natural conditions (in air, without exposure to cooling sources). A method for calculating the unsteady two-dimensional temperature field of rail lashes during cooling is presented. To calculate the finite difference method, a program was written in the Visual Basic programming language, which was subsequently compared with SolidWorks Simulation. As a result of calculations, it was found out that its own software is not inferior to its foreign counterpart in the quality of reliability of the results obtained. It has also been established that the process taking place under the set conditions has a certain inertia and for some sites begins after a certain period of time. The calculated data were compared with each other using a graphical method.

**Keywords:** joint-free track rail, cooling rail, insertion into the fixing temperature, mathematical modeling, finite difference method, finite element method.

## REFERENCES

1. Nikolaenko A.A., Gerber A.R. The maintenance of a seamless track in harsh climatic conditions [Soderzhanie besstykovogo puti v surovyyh klimaticheskikh usloviyakh]. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya. 2007. No. 16. Pp. 85–91. (rus)
2. Kreinis Z.L. The seamless path. How the seamless path is arranged and works [Besstykovoj put'. Kak ustroen i rabotaet besstykovoj put']. M.: Route, 2005. 472 p. (rus)
3. Albrecht V.G., Bromberg E.M., Zverev N.B., etc. The seamless path [Besstykovoj put']. edited by V.G. Albrecht, E.M. Bromberg. Moscow: Transport, 1982. 206 p. (rus)
4. Taits N.Y. Steel heating technology [Tekhnologiya nagreva stali]. M.: Metallurgizdat, 1950. 450 p. (rus)
5. Neiman V.A., Saklakov A.A. Substantiation of the schematic diagram of mobile cooling equipment for entering rail lashes into the fixing temperature [Obosnovanie principial'noj skhemy mobil'nogo ohlazhdayushchego oborudovaniya dlya vvoda rel'sovykh pletej v temperaturu zakrepleniya]. Sovremennye tekhnologii: aktual'nye voprosy teorii i praktiki: sbornik statej III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Penza, 30 maya 2022 goda, 2022. pp. 39–42. (rus)
6. Neyman, V. A. Mobile cooling device for the introduction of rail strips into the temperature corridor of cooling. Sovremennaya nauka, obshchestvo i obrazovanie: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovacii: sbornik statej IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Penza, 12 yanvarya 2023 goda, 2023. Pp. 48–51.
7. Gilmutdinov S.A., Stoyanovich G.M. Thermal balance of the rail [Teplovoj balans rel'sa]. Transport of the Asia-Pacific region. 2020. No. 2 (23). Pp. 24–27. (rus)
8. Amatuni A.N. Methods and devices for determining the temperature coefficients of linear expansion of materials [Metody i pribory dlya opredeleniya temperaturnyh koefficientov linejnogo rasshireniya materialov]. M., Publishing House of Standards, 1972. 140 p. (rus)
9. Matveev L.T. Course of general meteorology: Atmospheric physics [Kurs obshchej meteorologii: Fizika atmosfery]. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1984. 2nd ed., reprint. and an additional 751 p. (rus)
10. Petukhov B.S., Shikov V.K. Handbook of heat exchangers: in 2 vol. [Spravochnik po teploobmennikam: v 2 t.]. vol. 1. Moscow: Energoatomizdat, 1987. 559 p. (rus)
11. Stoyanovich G.M., Pupatenko V.V., Gilmutdinov S.A. The influence of physical parameters of rail steel on the change of gaps in the equalizing span of a jointless track [Vliyanie fizicheskikh parametrov rel'sovoj stali na izmenenie zazorov v uravnitel'nom prolete besstykovogo puti]. Proektirovanie razvitiya regional'noj seti zheleznyh dorog, 2019. Issue 7. Pp. 92–100. (rus)
12. Shaburov A.D., Mirzaev J.A. Calculation and modeling of cooling of large forgings [Raschet i modelirovanie ohlazhdeniya krupnyh pokovok] Bulletin of SUSU. 2011. No. 36. Pp. 66–69. (rus)
13. Samarskiy A.A. Theory of difference schemes [Teoriya raznostnykh skhem]. M. Science, 1977. 656 p. (rus).
14. Sparrow E.M., Sess R.D. Heat exchange by radiation [Teploobmen izlucheniem]. Leningrad: Energiya. Leningrad Branch, 1971. 294 p. (rus)
15. Sivkov S.I. Methods for calculating the characteristics of solar radiation [Metody rascheta harakteristik solnechnoj radiacii]. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1968. 232 p. (rus)

### Information about the authors

**Neyman, Vyacheslav A.** Postgraduate student. E-mail: Flinston154@yandex.ru. Siberian transport university. Russia, 630049, Novosibirsk, st. Dusi Kovalchuk, 191.

**Vorontsov, Denis S.** PhD, Assistant professor. E-mail: den.sv78@ya.ru. Siberian transport university. Russia, 630049, Novosibirsk, st. Dusi Kovalchuk, 191.

---

*Received 19.03.2024*

**Для цитирования:**

Нейман В.А., Воронцов Д.С. Моделирование процесса охлаждения рельсовой плети при естественных условиях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №5. С. 108–117. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-5-108-117

**For citation:**

Neyman V.A., Vorontsov D.S. Simulation of the cooling process of railways under natural conditions. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 5. Pp. 108–117. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-5-108-117