

1 Программное обеспечение для решения поставленной задачи

1.1 Описание программы

1.1.1 Общие сведения

Требования настоящего руководства применяются при:

- опытной эксплуатации
- приемочных испытаниях
- промышленной эксплуатации
- предварительных комплексных испытаниях

Чтобы использовать данную программу необходимо понимать предметную область. А именно понимать, как физически устроен процесс горячей прокатки. Такими знаниями обычно обладают операторы оборудования, управляющие процессом. Тем не менее, необходимым уровнем знаний обладают не только люди этой профессии и, при должном уровне доступа к этой программе, могут пользоваться и другие.

1.1.2 Функциональное назначение

Программа может при помощи решения дифференциальных уравнений теплопроводности в частных производных рассчитывать температурное распределение в полосе и рабочем слое вала. Для более точного расчета используются физические законы, описывающие энергосиловые характеристики процесса, с помощью которых программа рассчитывает тепловое распределение более точно. Вся полученная информация выводится в понятных интерактивных графиках для наглядного отображения получившихся параметров горячей прокатки.

Программный продукт применяется для расчета основных характеристик при работе с процессом горячей прокатки. Получаемые данные необходимы для оценки изношенности рабочих валков, а так же для оценки уровня нагрева рабочего слоя. Информация о нагреве нужна для оптимизации процесса охлаждения вала.

1.1.3 Описание логической структуры

Программный продукт был реализован на языке C++ при помощи кроссплатформенного фреймворка Qt [1]. Qt позволяет запускать на-

писанное с его помощью программное обеспечение в большинстве современных операционных систем путём простой компиляции программы для каждой системы без изменения исходного кода. Включает в себя все основные классы, которые могут потребоваться при разработке прикладного программного обеспечения, начиная от элементов графического интерфейса и заканчивая классами для работы с сетью, базами данных и XML. Является полностью объектно-ориентированным, расширяемым и поддерживающим технику компонентного программирования.

Qt создала себе репутацию средства разработки межплатформенных приложений, но благодаря своему интуитивному и мощному программному интерфейсу во многих организациях Qt используется для одноплатформенных разработок.

В основном расчете используются классы описанные ниже. В программе фигурируют и другие классы, но они нужны для вывода информации и других дополнительных функций.

1) **Roll** - класс для описания вала.

Содержит в себе физические свойства металла вала. А именно теплоемкость - *c*, плотность материала - *rho*, теплопроводность - *lambda*, радиус вала - *radius*, толщина рабочего слоя вала - *mmToHeat* и скорость вращения - *speed*.

В этом классе представлены методы для получения значений, описанных выше.

- `double getR()` - возвращает радиус вала;
- `double getC()` - возвращает теплоемкость вала;
- `double getRho()` - возвращает плотность металла вала;
- `double getLambda()` - возвращает теплопроводность вала;
- `double getSpeed()` - возвращает скорость вращения вала в м/с;
- `double countmmToHeat()` - возвращает толщину рабочего слоя вала.

А так же представлена функция возвращающая распределение температуры в глубину в валке на входе в очаг - `double initT(double r)` и функция, задающая это распределение `double setInitT(QVector<double> t)`.

2) **Scale** - класс для описания окалины, образующуюся на полосе во время ее проката.

Содержит в себе физические свойства окалины: теплопроводность - `lambda` и ее толщину - `thickness`.

В этом классе нет методов.

3) **Strip** - класс для описания прокатной полосы.

Содержит в себе физические свойства металла полосы. А именно теплоемкость - `c`, плотность материала - `rho`, теплопроводность - `lambda`.

В этом классе представлены методы для получения значений, описанных выше.

- `double getC()` - возвращает теплоемкость полосы;
- `double getRho()` - возвращает плотность металла полосы;
- `double getLambda()` - возвращает теплопроводность полосы.

А так же представлена функция возвращающая распределение температуры в глубину в полосе на входе в очаг - `double initT(double r)`.

4) **Focus** - класс, в котором собираются физические объекты для описания очага деформации.

Содержит в себе все параметры очага деформации. В первую очередь в этот класс входят валок - `roll`, полоса - `strip`, участвующие в процессе и окалина - `scale`, которая образуется при этом процессе. Дополнительно для описания особенностей очага представлены следующие поля:

- `h_b` - толщина полосы на входе в очаг;
- `h_a` - толщина полосы на выходе из очага;
- `length` - длина очага;
- `phi_max` - правая граница области очага для угла;
- `r_max` - максимальное значение радиуса в области очага;
- `alpha` - величина угла во второй части очага (см. рис. ??);
- `beta` - величина угла в первой части очага (см. рис. ??).

В этом классе представлены следующие методы:

- `Roll getRoll()` - возвращает валок, участвующий в процессе прокатки в данном очаге;
- `Strip getStrip()` - возвращает полосу, участвующую в процессе прокатки в данном очаге;

- Scale getScale() - возвращает окалину, получившуюся в процессе прокатки в данном очаге;
- double getHBefore() - возвращает толщину полосы на входе в очаг;
- double getHAfter() - возвращает толщину полосы на выходе из очага;
- double maxR(double phi) - возвращает правую границу для радиуса в текущем слое. Принимает значения угла в интересующем слое;
- double epsH(double h, double h_max) - возвращает относительное обжатие полосы. Принимает толщину полосы в 2 состояниях. Можно использовать как для узнавания обжатия на соседних слоях, так и на всем очаге;
- double curH(double phi) - возвращает толщину полосы на текущем слое.

5) **diffEquation** - класс для решения дифференциального уравнения теплопроводности в частных производных при заданных параметрах горячей прокатки.

Содержит в себе все параметры для численного решения уравнения. Данные очага берутся из объекта focus класса Focus, а для расчета используются следующие поля:

- u - матрица значений температуры в узлах разностной сетки;
- h - шаг по радиусу;
- theta - шаг по углу;
- M - количество точек по радиусу;
- N - количество точек по углу;
- NBack - точка ограничивающая зону отставания (см. рис. ??);
- NForward - точка ограничивающая зону опережения (см. рис. ??);
- Nneutr - точка в зоне прилипания, где скорость проката полосы и скорость вращения вала совпадают (см. рис. ??);
- tauContAbs - касательное напряжение;
- tauShear - предел текучести.

В этом классе представлены следующие методы:

- void solveFocus() - функция для решения уравнения теплопроводности в очаге деформации;

- `void solveNonFocus(double t)` - функция для решения уравнения теплопроводности вне очага деформации, принимает температуру воды или воздуха, которым охлаждается валок;
- `Focus getFocus()` - возвращает объект очага деформации;
- `int MUpdate(double angle, double rstep)` - возвращает количество точек по радиусу для расчета в очередном слое. Принимает значение угла в очередном слое и шаг по радиусу;
- `double q(int i)` - возвращает величину теплового потока в i -том слое;
- `double f(int i, int j)` - возвращает величину приращения температуры от предыдущего слоя в точке с координатами (i, j) в разностной сетке;
- `double Kdef(double phi)` - возвращает величину сопротивления деформации на определенном слое. Принимает значение угла в нужном слое.

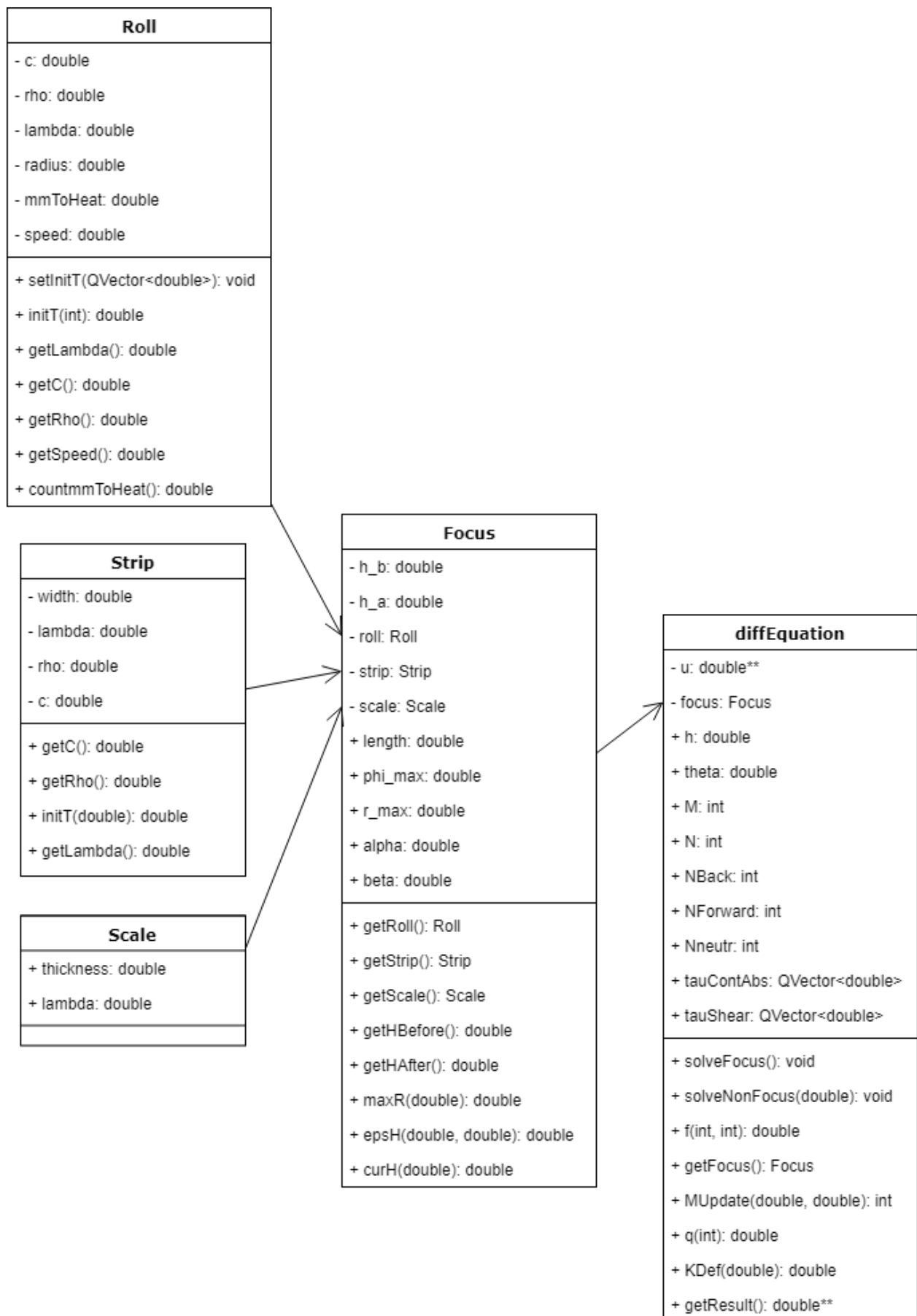


Рисунок 1 – Диаграмма классов

1.1.4 Используемые технические средства

Минимальная конфигурация технических и общесистемных программных средств должна соответствовать следующим параметрам:

- процессор с тактовой частотой не ниже 1 ГГц;
- ОЗУ не менее 512 Мбайт;
- свободное дисковое пространство 40.7 Мбайт;
- монитор с разрешением 1280 × 800 и больше;
- клавиатура;
- мышь;
- установленный Microsoft Visual C++ 2008 Redistributable или моложе;
- ОС MS Windows XP SP2 (32 bit version) или моложе.

Так же для работы в папке с программой должны находиться следующие библиотеки:

- libgcc_s_dw2-1.dll;
- libstdc++-6.dll;
- libwinpthread-1.dll;
- Qt5Core.dll;
- Qt5Gui.dll;
- Qt5PrintSupport.dll;
- Qt5Widgets.dll;
- platforms/qwindows.dll.
- platforms/qwindowsd.dll.

1.1.5 Установка и удаление

Для установки ПО необходимо перенести с носителя дистрибутива исполняемый файл и файлы библиотек, лежащие с ним в одной папке, в папку на своем компьютере.

Для удаления ПО необходимо удалить исполняемый файл и файлы библиотек, лежащие с ним в одной папке со своего компьютера.

1.1.6 Вызов и загрузка

Перед началом работы пользователю нужно сделать следующее:

1. Зайти в папку, в которой лежит программа.

2. Запустить двойным щелчком программу «heat.exe».
3. После появления главного окна программы можно начинать работу.

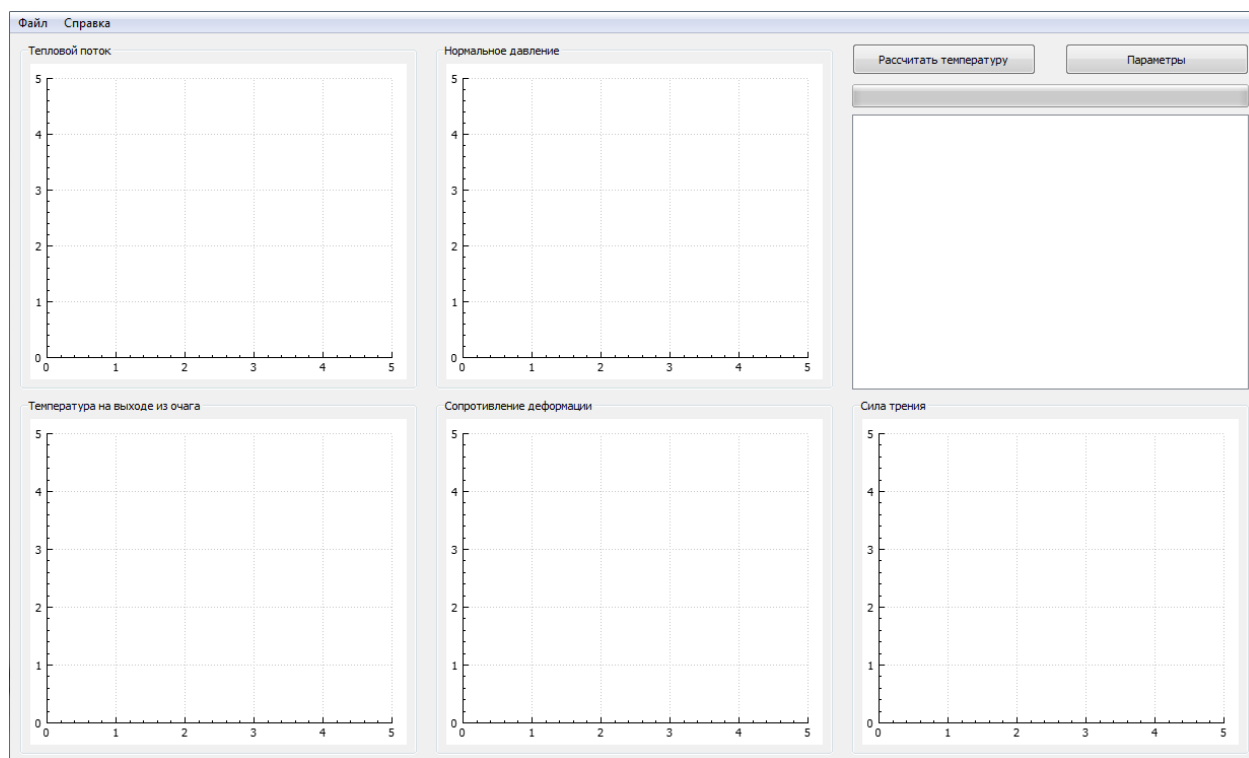


Рисунок 2 – Главное окно программы

1.1.7 Входные данные

- Параметры металла: физические параметры металлов полосы и валка (коэффициент теплопроводности, плотность материалов и теплоемкость).
- Общие настройки: радиус валка, скорость его вращения, глубина валка, на которую будет рассчитываться распространение тепла, время моделирования и параметры дискретизации (количество точек по радиусу и по кругу вращения валка).
- Параметры очага деформации: толщина полосы на входе в очаг и толщина полосы на выходе из очага.
- Параметры охлаждения валка: температуры воздуха и воды, которыми охлаждается валок.

1.1.8 Выходные данные

На выходе пользователь получает графики распределения энергосиловых характеристик на протяжении всей длины очага деформации и таблицу со значениями температуры во всех узлах дискретизации.

1.2 Руководство пользователя

1.2.1 Назначение программы

Программа может при помощи решения дифференциальных уравнений теплопроводности в частных производных рассчитывать температурное распределение в полосе и рабочем слое вала. Для более точного расчета используются физические законы, описывающие энергосиловые характеристики процесса, с помощью которых программа рассчитывает тепловое распределение более точно. Вся полученная информация выводится в понятных интерактивных графиках для наглядного отображения получившихся параметров горячей прокатки.

Программный продукт применяется для расчета основных характеристик при работе с процессом горячей прокатки. Получаемые данные необходимы для оценки изношенности рабочих валков, а так же для оценки уровня нагрева рабочего слоя. Информация о нагреве нужна для оптимизации процесса охлаждения вала.

1.2.2 Условия выполнения программы

Для полноценной работы программы необходимы следующие системные требования:

- процессор с тактовой частотой не ниже 1 ГГц;
- ОЗУ не менее 512 Мбайт;
- свободное дисковое пространство 40.7 Мбайт;
- монитор с разрешением 1280 × 800 и больше;
- клавиатура;
- мышь;
- установленный Microsoft Visual C++ 2008 Redistributable или моложе;
- ОС MS Windows XP SP2 (32 bit version) или моложе.

Так же для работы в папке с программой должны находиться следующие библиотеки:

- libgcc_s_dw2-1.dll;
- libstdc++-6.dll;
- libwinpthread-1.dll;
- Qt5Core.dll;
- Qt5Gui.dll;
- Qt5PrintSupport.dll;
- Qt5Widgets.dll;
- platforms/qwindows.dll.
- platforms/qwindowsd.dll.

1.2.3 Выполнение программы

Функции	Задачи	Описание
Задание входных данных для расчета всех характеристик	Настройка вручную	Перед началом работы необходимо убедиться, что настройки оборудования соответствуют значениям, введенным в программе для расчета необходимых величин. В настройках задаются все параметры, указанные в п. 3.1.7. Все настройки сохраняются в файл для дальнейшего их чтения. Сохранение настроек в файл позволяет удобно переносить с одного носителя на другой.
	Загрузка из файла	Параметры можно переносить с одного устройство на другое, а так же использовать преднастройки, чтобы не тратить время на ввод данных. Делается это путем загрузки из нужного файла.

Основной расчет	Расчет всех необходимых характеристик процесса горячей прокатки	Основная функция программы. Производит расчет с заданными параметрами, считанными из файла настроек (см. Настройка параметров). В виде результата выводится таблица с распределением температур. Для анализа результатов выводятся графики энергосиловых характеристик и график распределения температуры на выходе из очага деформации в полосе и в рабочем слое вала.
-----------------	---	---

1) Настройка параметров вручную.

Для выполнения этой функции необходимо выполнить следующие действия: на главном экране нажать на кнопку «Параметры».

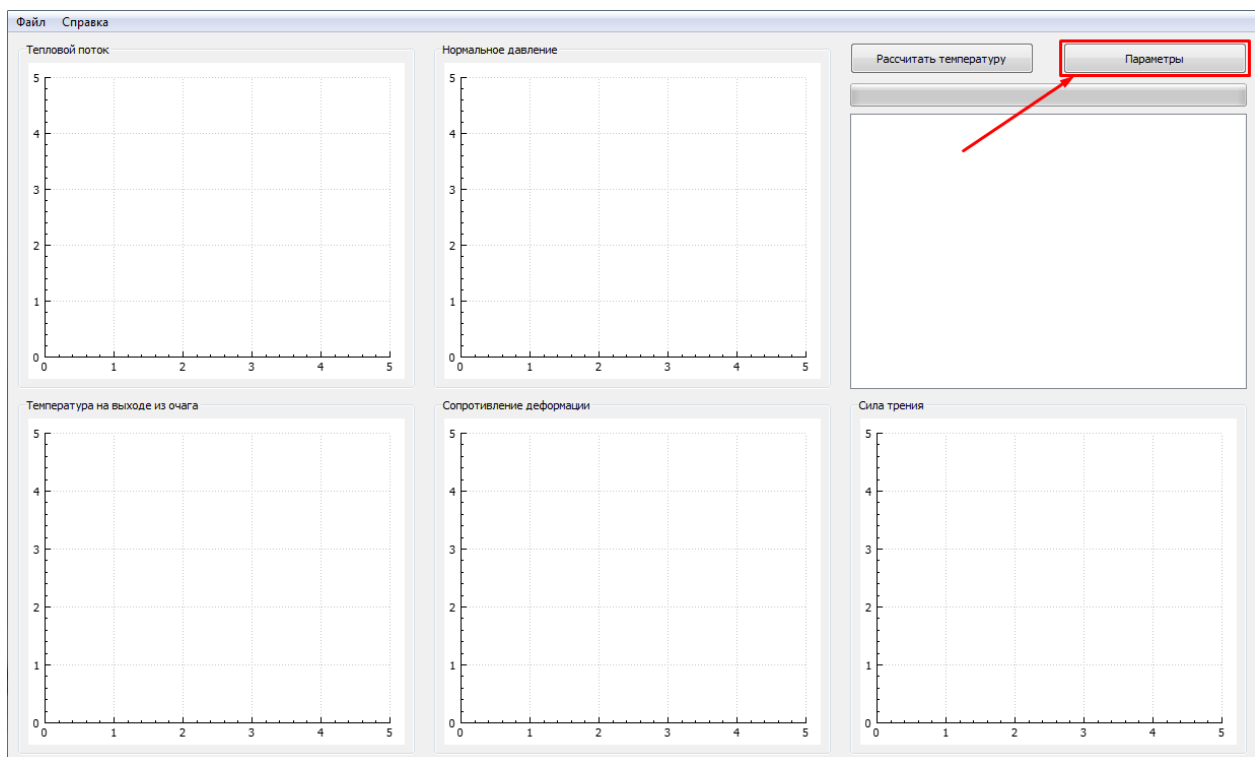


Рисунок 3 – Кнопка для открытия окна с настройками

Появится дополнительное окно, в котором необходимо указать параметры, описанные в п. 3.1.7.

Параметры металла

Полоса	58,0	7832,0	481,0
Теплопроводность		Плотность материала	
Валок	17,0	7800,0	500,0
		Теплоемкость	

Общие настройки

Радиус вала, мм	450	Точек по радиусу	200	Точек по phi	500
Время моделирования, мин	60	Скорость вращения вала, об/мин	10,0		
Толщина рабочего слоя, мм	40				

Очаг

Толщина полосы до, мм	28,00
Толщина полосы после, мм	16,00

Охлаждение вала

Температура воздуха	50,00
Температура воды	30,00

Сохранить и применить параметры

Загрузить параметры из файла

Рисунок 4 – Окно настроек

После ввода данных нужно нажать на кнопку «Сохранить и применить параметры».

2) Загрузка параметров из файла.

Для выполнения этой функции необходимо в окне параметров нажать на кнопку «Загрузить параметры из файла» или на главном окне в меню «Файл» выбрать пункт «Загрузить параметры».

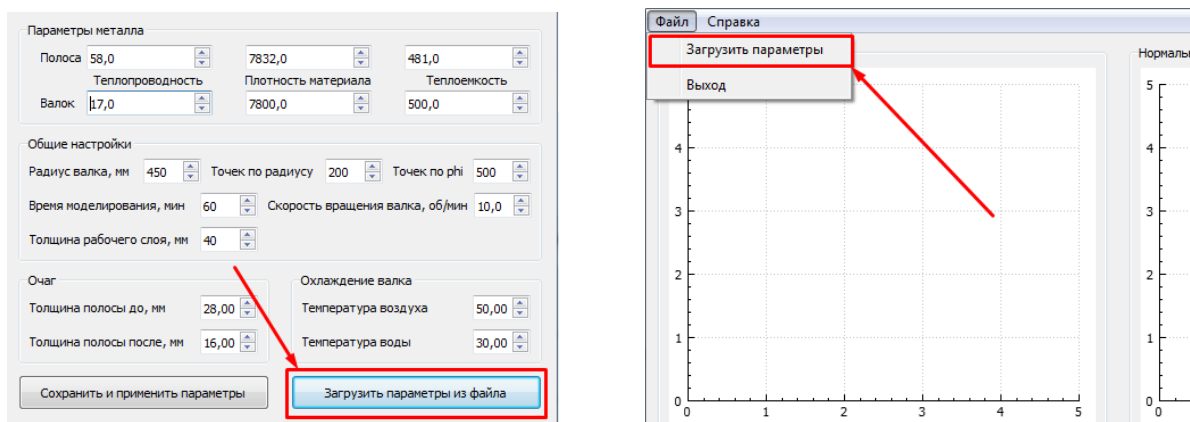


Рисунок 5 – Кнопка для открытия окна с настройками

Затем выбрать файл формата «.hgr». Настройки автоматически сохраняются, соответственно дополнительно нажимать на кнопку «Сохранить и применить параметры» не нужно.

3) Основной расчет.

Чтобы выполнить эту функцию необходимо на главном экране нажать на кнопку «Рассчитать температуру».

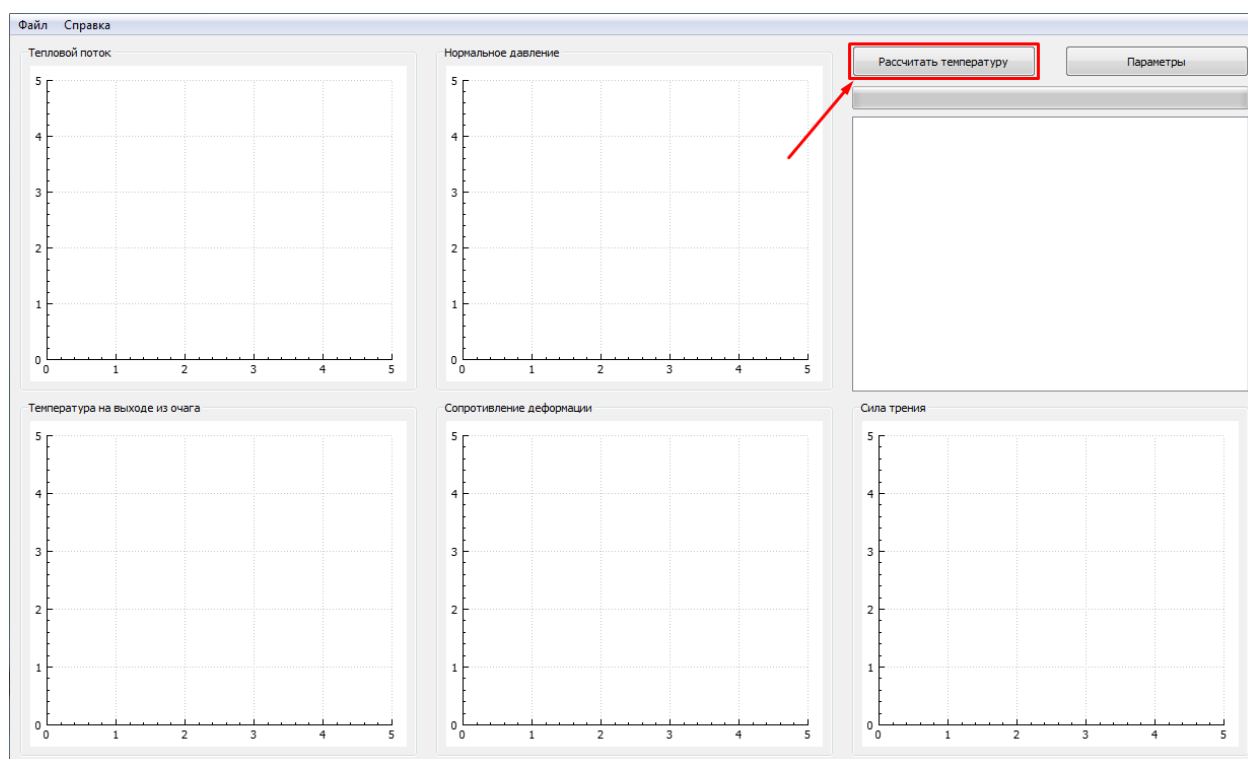


Рисунок 6 – Кнопка для основного расчета

В течение нескольких секунд будет производиться расчет и вывод полученной информации на экран. Необходимо немного подождать завершения операции. В результате на экране появятся графики изменения самых важных величин (теплового потока, нормального и касательного напряжений, предела текучести и сопротивления деформации) по длине очага и график распределения тепла на выходе из очага. И, что самое главное, разностную сетку со значениями температуры в рабочем слое валка и в полосе.

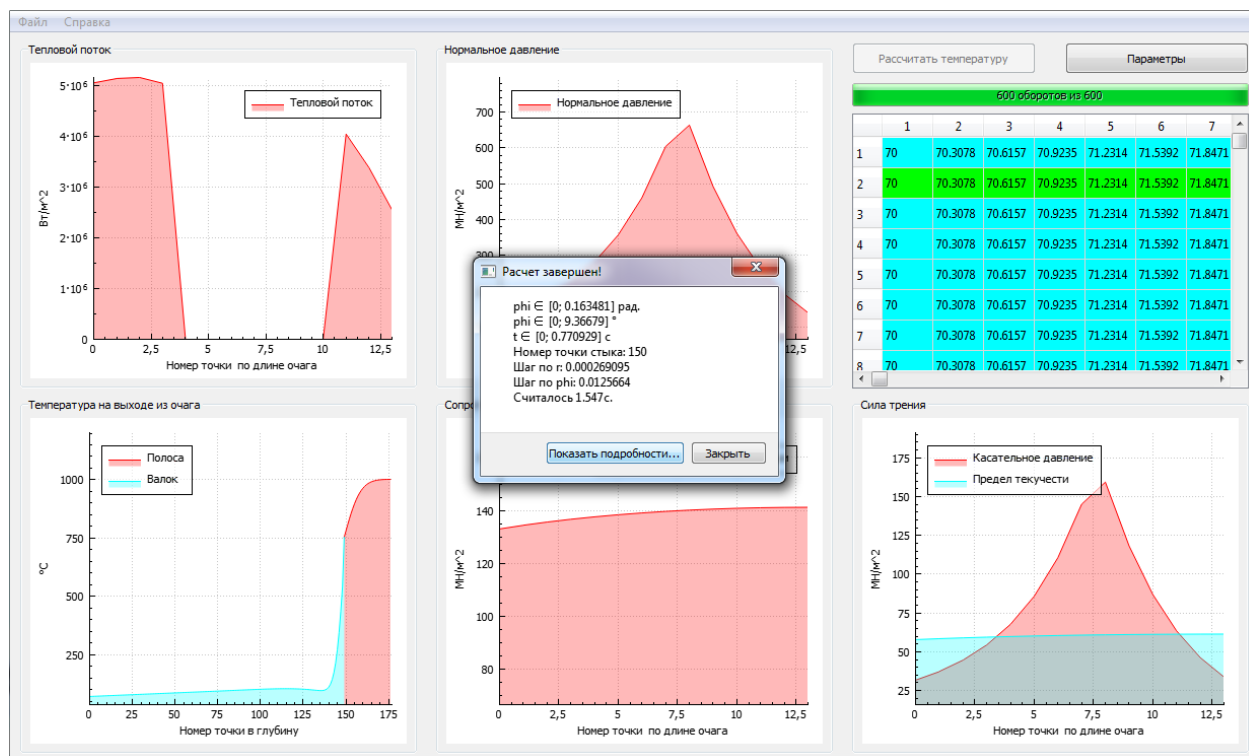


Рисунок 7 – Главное окно после расчетов

1.2.4 Сообщения оператору

В случае возникновения ошибок при работе с программой, не описанных ниже в данном разделе, необходимо обращаться к ответственному администратору.

— «Настройки не загружены!»

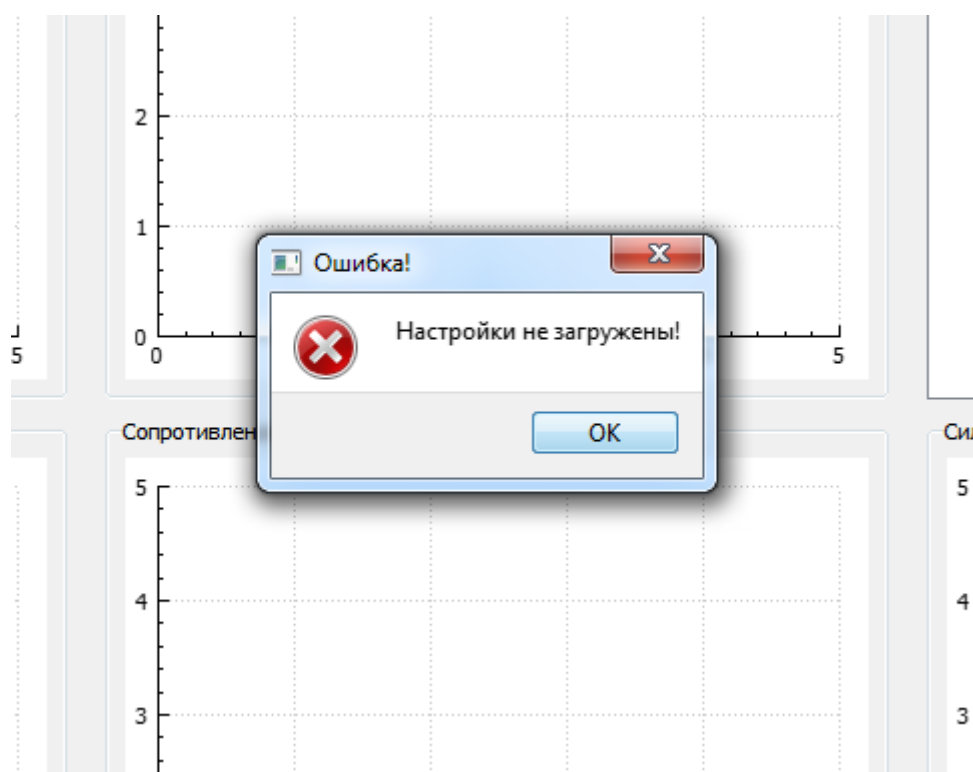


Рисунок 8 – Ошибка заполнения полей

Такая ошибка может возникнуть из-за импорта настроек из файла с нарушенной структурой, либо с недостающими параметрами. Так же она может возникнуть из-за ошибочного ввода данных. Для исправления необходимо сохранить нужные параметры заново так, как описано в п. 3.2.3.

В качестве контрольного примера рекомендуется выполнить операции, описанные в п. 3.2.3. настоящего документа.