



ЮУрГУ
ВШЭКН

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Электронные вычислительные машины»

Моделирование гидравлических процессов петлевой системы
охлаждения медных плит кристаллизатора машины
непрерывного литья заготовок

Научный руководитель:
к.т.н., доцент кафедры ЭВМ
Топольский Д.В.

Автор работы:
студент группы КЭ-406
Усолкин Я.А.

Цель

создание модели петлевой системы охлаждения медных плит кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок (далее - МНЛЗ).

Задачи

- сбор и анализ данных;
- разработка компьютерных моделей с использованием математического аппарата;
- проверка адекватности компьютерных моделей.

Объект

гидравлические процессы кристаллизатора МНЛЗ.

Предмет

показатели расхода и давления турбулентной жидкости системы охлаждения кристаллизатора МНЛЗ.

Продукт

компьютерные программы, выполненные в среде MatLab, CLion (C++).

Актуальность

Непрерывная разливка металлов

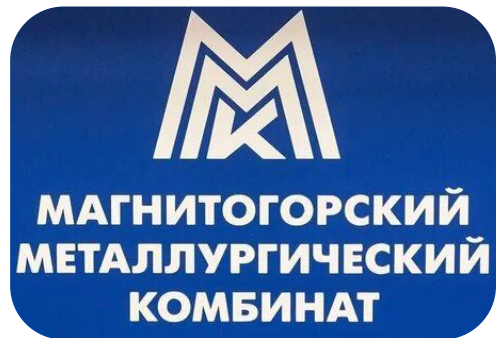
- меньшие затраты;
- снижение числа производственных операций;
- уменьшение отходов;
- повышение выхода годного металла.

Медные кристаллизаторы

- производительность агрегатов и качество получаемых слитков;
- конструкция должна обеспечивать хороший теплоотвод, высокую стойкость и безопасность работы.

Актуальность

Потенциальные заказчики



ПАО
“ММК”

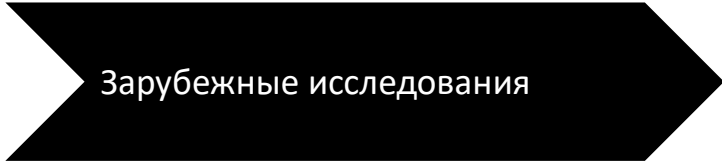


ОАО
“Северсталь”



ОАО “ЕВРАЗ”

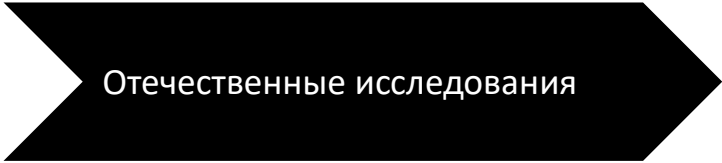
Анализ литературы



Зарубежные исследования

Б. Томас, Дж. Янг, И. Менг, П. Ли, П. Рамирес, К. Миллс и др.

Создание математической модели тепловых процессов, протекающих при работе МНЛЗ, в том числе и в кристаллизаторе МНЛЗ. В модели рассматриваются сечения МНЛЗ на различных расстояниях от мениска металла, и решается двумерная задача

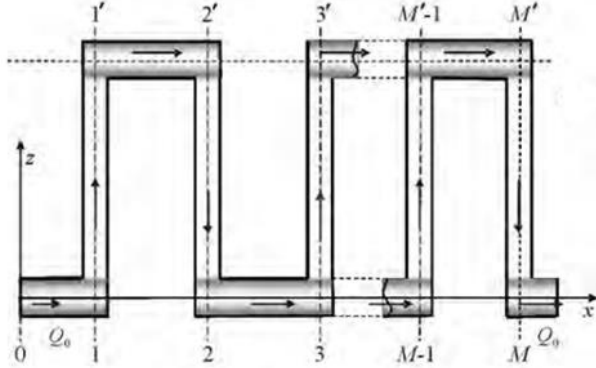


Отечественные исследования

Гусев М.П., Анисимов К.Н., Вдовин К. Н., Точилкин В.В., Ячиков И.М. и др.

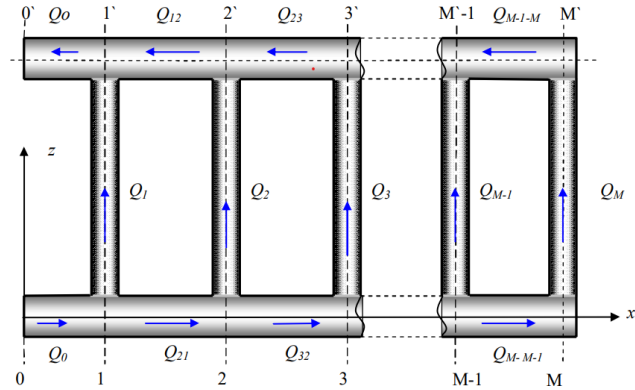
Построение математической модели гидравлических, механических и тепловых расчетов медных стенок кристаллизаторов. В исследовании показано влияние геометрических параметров каналов медной стенки кристаллизатора МНЛЗ гидравлическую и тепловую работу, где исследуют как трехмерную модель, так и модель в реальном времени.

Математическая модель



Последовательное соединение

В основу математического аппарата расчета гидравлической работы кристаллизатора положены законы сохранения энергии для потока реальной жидкости, с использованием уравнения Бернулли



Сложное соединение

(1)

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_\omega$$

(2)

$$h_\omega = \sum h_D + \sum h_M$$

(3)

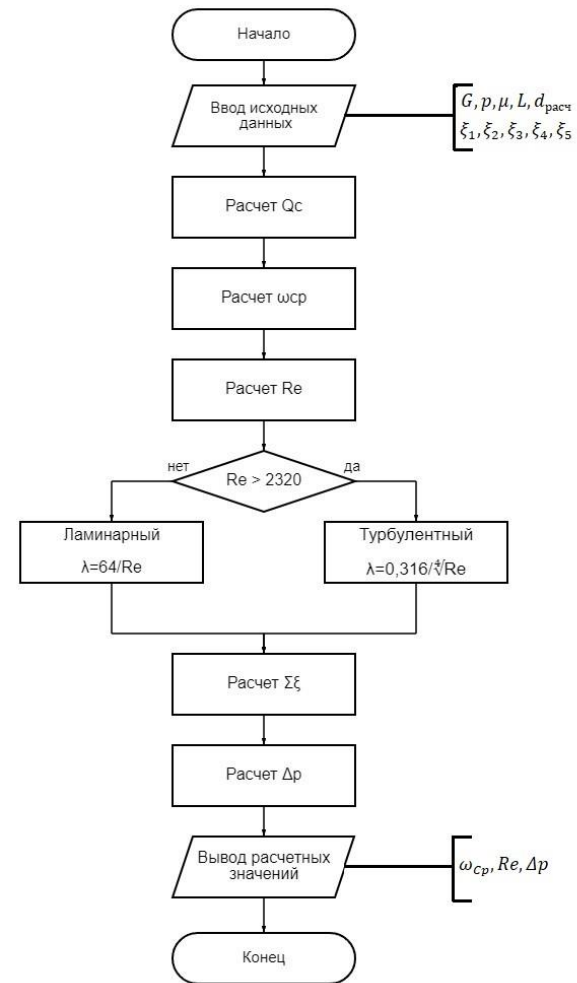
$$h_n(U_{i-1} - U_i) + 2h_z(U_i) + h_6(U_i - U_{i+1}, U_i) + h_6(U_i - U_{i+1}) + h_6(U_i - U_{i+1}, U_i) + h_n(U_{i-1} - U_i, U_{i-1}) - h_6(U_{i-1} - U_i, U_{i-1}) - h_6(U_{i-1} - U_i) - h_6(U_{i-1} - U_i, U_{i-1}) = 0.$$

$$(\Delta P / \gamma) - 2h_z(U_0) - h_{16}(U_0 - U_1, U_0) - h_1(U_0 - U_1) - h_{16}(U_0 - U_1, U_0) = 0,$$

$$U_M = 0.$$

Алгоритм решения задачи поиска потерь давления ламинарного ил турбулентного потоков

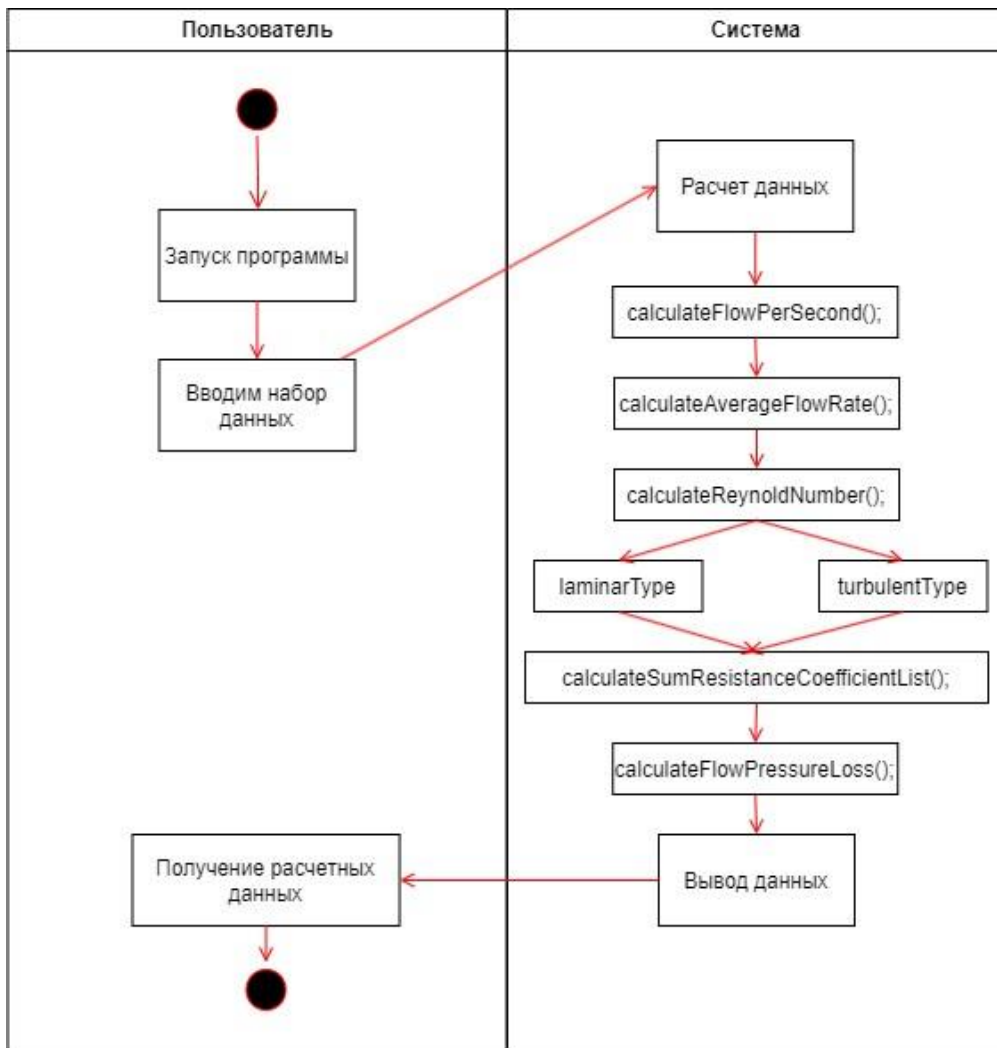
Создав модель перепада давления и расхода жидкости на участке трубопровода с двумя коленами, можно масштабировать данную модель на М-колен с учетом значений давления и расхода воды в узлах, согласно закону Кирхгофа и условию баланса



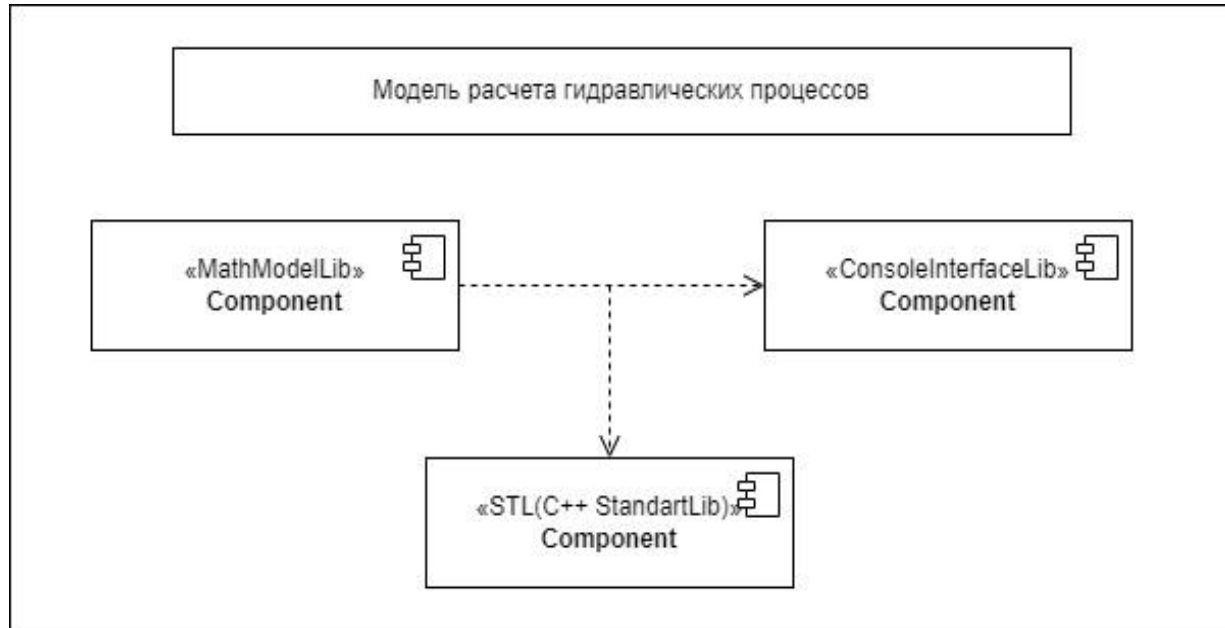
Компьютерная модель

Диаграмма деятельности

Проектируемая модель занимается задачами определения скорости движения потока, числа Рейнольдса, а также потери давления потока жидкости для последовательного соединения каналов кристаллизатора



Компьютерная модель



Архитектура модели определяет ее компоненты, их функции и взаимодействие. Для представления компонентов модели была построена диаграмма компонентов. В ней реализовано выявление связи между всеми структурными компонентами

Проверка адекватности компьютерных моделей

- проверка адекватности моделей по отношению к реальному объекту оценивается по близости результатов расчетов экспериментальным данным;
- за основу реального объекта взяты исходные данные к работе.

Метрика	Модель сложного соединения %	Модель последовательного соединения %
Средний разброс скорости, δ	0,8	0,001
Максимальный разброс скорости, δ_{max}	1,2	0,005

Заключение

- в первой главе проведен анализ зарубежных и отечественных источников. Исследователи из РФ рассматривают трехмерную модель и модель в реальном времени, в отличие от их западных коллег, которые в свою очередь заостряют внимание на двумерной задаче;
- во второй главе был описан алгоритм решения задачи моделирования гидравлических процессов на основе математической модели;

Заключение

- в третьей главе для схемы взаимодействия с последовательным соединением каналов была разработана компьютерная программа Console Interface, написанная на языке программирования C++;
- в четвертой главе произведена работа по проверке адекватности созданных компьютерных моделей, а также сравнение компьютерной и математической модели с исходным набором данных.



Спасибо за внимание