

12. Скударнова Н.В. Программная реализация модели тяжелосреднего гидроциклона как компонента цифрового двойника производства / Н.В. Скударнова, Г.В. Макаров, М.М. Свинцов // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве. AS'2021: труды XIII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) / Мин-во образования и науки РФ, Сиб. гос. индустр. ун-т [и др.]; под общ. ред.: С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2021. – С. 151-155.

13. Дмитриев В.М. / Методика построения виртуально-физической лаборатории «Элементы и устройства роботизированных систем» / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа, Т.Н. Зайченко, М.И. Кочергин / Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. 2019. № 1-2. С. 178-182.

УДК 004.4

**Д. Д. Панков, Е. В. Киселев**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## **РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РЕКУПЕРАТОРА**

**Аннотация.** *На сегодня опыт, полученный отечественными и зарубежными предприятиями, убедительно доказывает, что развитие предприятий металлургического комплекса, решение проблемы качества и конкурентоспособности металлопродукции на мировом рынке требуют коренного совершенствования систем сбора, хранения, обработки, передачи и использования информации, используемых как для управления технологическими процессами, так и управления производством в целом. Любой технологический объект или агрегат должен быть максимально автоматизирован и информатизирован. Это существенно повышает его экономическую эффективность и позволяет предприятию сохранять конкурентоспособность на рынке.*

*В данной работе проведен процесс автоматизации расчета металлического петлевого рекуператора, который часто используется для рекуперации теплоты дымовых газов от нагревательных и термических печей для подогрева воздуха и газообразного топлива.*

**Ключевые слова:** *web-приложение; рекуператор; теплотехника.*

**Abstract.** *Today, the experience gained by domestic and foreign enterprises convincingly proves that the development of enterprises in the metallurgical complex, the solution of the problem of quality and competitiveness of metal products in the world market require a fundamental improvement in the systems for collecting, storing, processing, transmitting and using information used both for managing technological processes, and production management in general. Any technological object or unit should be automated and informatized as much as possible. This significantly increases its economic efficiency and allows the company to remain competitive in the market.*

*In this paper, the process of automating the calculation of a metal loop heat exchanger is carried out, which is often used to recover the heat of flue gases from heating and thermal furnaces for heating air and gaseous fuel.*

**Key words:** *web application; recuperator; heat engineering.*

В основу разработанной программы легла методика расчёта металлического трубчатого петлевого четырехсекционного рекуператора для нагрева воздуха, предложенная Лисиенко В.Г. [2]. Идея данной методики заключается в расчете коэффициента теплопередачи, площади поверхности и максимальной температуры стенки рекуператора. Рекуператор изображен на рисунке 1 [1].

Теплотехнический расчет свойств рекуператора является достаточно сложным и требует большого объема расчета с использованием специальной справочной информации [3, 4].

Целью проекта является создание программного продукта – информационно-моделирующей системы расчета параметров петлевого металлического рекуператора.

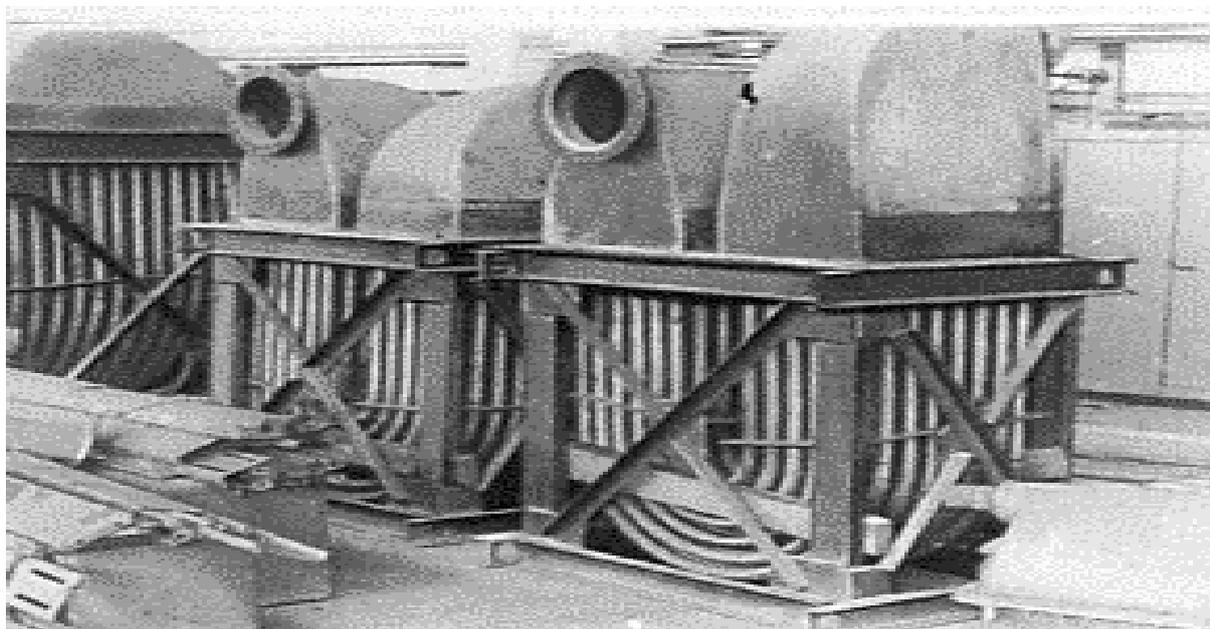


Рис. 1. Петлевой металлический рекуператор

Основная задача программы состоит в определении величины поверхности теплообмена, которая в свою очередь является исходным параметром при проектировании. Также программа позволит определять максимальную температуру стенки трубы рекуператора. Реализовано отображение результатов расчета в виде таблицы с возможностью сохранения в формате xls. Также была предусмотрена возможность графического изображения зависимостей параметров рекуператора.

Разрабатываемое программное средство выполнено с помощью Microsoft Visual Studio 2019 в виде web-приложения.

Технология реализации web-приложения выбиралась на основании большого разнообразия программных возможностей.

Работа web-приложения построена на связи между сервером и клиентом. Хранение пользовательских данных осуществляется как на локальном, так и на облачном сервере. Обмен данными происходит по сети [5, 6].

Разработка web-приложения производилась на платформе .NET Framework. Программная платформа .NET Framework – это технология, которая поддерживает создание и выполнение веб-служб и приложений Windows [6]. Эта платформа обеспечивает согласованную объектно-ориентированную среду программирования для локального сохранения и выполнения объектного кода.

В разрабатываемом web-приложении предусмотрен следующий функционал:

- в приложении предусмотрена авторизация регистрация пользователей;
- каждый пользователь имеет возможность сохранять собственные варианты расчета в личном кабинете;
- результаты расчета отображаются в виде таблицы;
- реализовано отображение результатов расчета в виде графиков;
- учтена возможность загрузки результатов расчета в виде excel файла.

Основные этапы создания программного продукта:

#### Математическая библиотека расчета

Метаматематическая библиотека была создана на основе методических указаний, в которых реализован алгоритм расчета [2]. Формулы расчета для удобства были переведены в Excel файл. Ниже на рисунке 2 показан фрагмент Excel файла в котором реализован расчет.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Теплотехнический расчет петлевого трубчатого рекуператора														
2															
3	Пример расчета металлического трубчатого петлевого четырехсекционного рекуператора для нагрева воздуха														
4	требуется определить:														
5	1) $V_b, V_d$ -Определение расхода воздуха и количества продуктов сгорания														
6	2) F-поверхность нагрева														
7	3) $t_0$ -максимальная температура стенки рекуператора														
8	Исходные данные:														
9	1) Теплота сгорания смеси доменного и природного газа $Q_{рн.см} = 18,2$ МДж/м <sup>3</sup>														
10	$Q_{рн.д} = 3,6$ МДж/м <sup>3</sup> ; $Q_{рн.п} = 34,4$ МДж/м <sup>3</sup>														
11	2) Тепловая нагрузка печи $Q_{рн} = 93$ МВт;														
12	3) Требуемый подогрев воздуха $t''_b = 400$ оС;														
13	4) Температура продуктов сгорания на выходе из печи $t''_{пс} = 1100$ оС;														
14	5) Температура воздуха на входе в рекуператор $t'_b = 0$ оС														
15	Расчет:														
16	1. Определение расхода воздуха и количества продуктов сгорания														
17	Расходы $V_{д.г}$ и $V_{п.г}$ определяются из совместного решения двух уравнений:														
18	$V_{д.г} * Q_{рн.д} + V_{п.г} * Q_{рн.п} = (B * Q_{рн}) / n$														
19	$(V_{д.г} + V_{п.г}) * Q_{рн.см} = (B * Q_{рн}) / n$														
20	Расход воздуха при $\alpha = 1,1$ составляет $V_b = 31,5$ м <sup>3</sup> /с; Количество продуктов сгорания при $\alpha = 1,1$ $V_{пд} = 36,3$ м <sup>3</sup> /с														
21	при $\alpha = 1$ $V_{об} = 28,65$ м <sup>3</sup> /с; при $\alpha = 1$ $V_{од} = 33,4$ м <sup>3</sup> /с														
22	В процессе движения продуктов сгорания от рабочего пространства печи до рекуператора их количество,														
23	как правило увеличивается за счет подсоса воздуха (на 10-30%). Принимаем подсос воздуха на пути от рабочего пространства														
24	печи до рекуператора 10% от количества продуктов сгорания, тогда приход подсосанного воздуха составляет:														
25	$V_{под.в} = 3,63$ м <sup>3</sup> /с;														
26	Количество продуктов сгорания перед рекуператором:														
27	$V_{д} = 39,93$ м <sup>3</sup> /с;														
28	Коэффициент расхода воздуха в продуктах сгорания в рекуператоре:														
29	$\alpha = 1,226178$														

Рис. 2. Фрагмент Excel файла с расчетом

Для разработки математической библиотеки в среде Microsoft Visual Studio 2019 создан новый проект, внутри которого добавлен dll файл. После этого создан класс, в который введены переменные и формулы из методических указа-

ний. Следующим этапом добавлена готовая математическая библиотека в основной проект, который был размещен в системе хранения версий Bitbucket.

#### *Клиентское многопользовательское web-приложение*

Далее необходимо было создать в среде Microsoft Visual Studio 2019 на платформе ASP.NET MVC Framework клиентское многопользовательского web-приложение.

Создан новый Web проект на платформе ASP.NET MVC Framework. Для дальнейшего взаимодействия необходимо загрузить дополнение к среде Microsoft Visual Studio 2019, Microsoft SQL Server. Взаимодействия с MS SQL Server и Framework было реализовано через Nuget пакет Microsoft.EntityFrameworkCore.SqlServer. Далее в папку Models добавлен класс контекста данных UsersContext. Для хранения данных пользователей, в файле конфигурации appsettings.json определены настройки подключения к базе данных. Для установки сервисов Entity Framework и подключения функционала аутентификации и авторизации изменен класс Startup. С помощью метода ConfigureServices() производится установка и настройка всех необходимых сервисов.

#### *Ввод и сохранение вариантов исходных данных*

Для ввода и сохранения вариантов исходных данных необходимо усовершенствовать пользовательский интерфейс клиентского web-приложения.

Для дальнейшей работы по проекту необходимо установить Microsoft SQL Server 2012 и настроить подключения с базами данных, где для хранения вариантов расчётов проекта была создана база данных Microsoft SQL Server 2012, так же создана таблица, которая будет хранить все накопленные варианты расчётов. Для отображения исходных параметров в базе данных, необходимо на веб форму внести переменные с помощью html. После этого добавляется элемент с выпадающим меню, чтобы работать с исходными параметрами в базе данных. На рисунке 3 показаны варианты расчета, сохраненные пользователем.

Название варианта	Дата выполнения расчета	Комментарий к варианту расчета	
Шаблон	2021-08-10	Базовый расчет	<a href="#">Edit</a>   <a href="#">Details</a>   <a href="#">Delete</a>
Вариант 1	2021-08-26	Вариант с измененными данными	<a href="#">Edit</a>   <a href="#">Details</a>   <a href="#">Delete</a>
Вариант 2	2021-09-02	Начальная температура 1100С	<a href="#">Edit</a>   <a href="#">Details</a>   <a href="#">Delete</a>

© 2021 - Кафедра "Теплофизика и информатика в металлургии" УрФУ, г. Екатеринбург

Рис. 3. Сохраненные варианты расчета

#### *Отображение результатов расчета в численном виде*

Следующим этапом выполнялись расчеты и отображение результатов в численном виде на пользовательской форме web-приложения. Расчет выполнялся путем обращения к математической библиотеке, файлу dll. При это была создана новая HTML страница для ввода/вывода данных проекта из библиотеки. Через контроллер и модель ее связали со страницей dll библиотеки. Далее на рисунке 4 показан пример отображения полученных результатов.

## Расчетные показатели

Наименование показателя, ед. изм.	Величина
Теплоемкость воздуха, Дж/(м <sup>3</sup> К)	1346,53
Теплоемкость дыма, Дж/(м <sup>3</sup> К)	1409,08
Энтальпия воздуха при начальной температуре, кДж/м <sup>3</sup>	26930,6
Энтальпия воздуха при конечной температуре, кДж/м <sup>3</sup>	403959
Энтальпия дыма при начальной температуре, кДж/м <sup>3</sup>	1127264
Средняя температура воздуха, °С	160
Средняя температура дыма, °С	678,65
Средняя температура стенки рекуператора, °С	489,32
Отношение Tст/Tв	1,76
Поправка для Крек	1,15
Фактическая скорость воздуха, м/с	12,1
Фактическая скорость продуктов сгорания, м/с	2,68

Рис. 4. Отображение результатов расчета

### *Отображение результатов расчета в графическом виде*

Для наглядности реализовано отображения результатов расчета в графическом виде на пользовательской форме web-приложения. Отображение графиков были созданы с помощью популярной библиотека HTML – Bootsrtap. С помощью данного компонента были построены графики зависимости параметров петлевого рекуператора.

### *Заключение*

В результате работы над проектом был разработан программный продукт, в котором реализован теплотехнический расчет петлевого рекуператора. Он также отображает основные показатели, такие как площадь поверхности нагрева, максимальная температура стенки рекуператора и позволяет сохранить результаты расчетов в формате xls.

Данный программный продукт может использоваться как в производственных, так и в учебных целях.

## Список использованных источников

1. Изображение петлевого металлического рекуператора [Электронный ресурс] URL: <https://thepresentation.ru/uncategorized/teplovaya-rabota-i-konstruktsii-rekuperatorov#slides-10>оклад.
2. Теплотехнические расчеты металлургических печей / Б.Ф. Зобнин, М.Д. Казяев, Б.И. Китаев, В.Г. Лисиенко, А.С. Телегин, Ю.Г. Ярошенко; под ред. А.С. Телегина. – М: Металлургия, 1982. – 360 с.
3. Конспект лекций по дисциплине "Металлургические печи" для студентов групп МО, ТП, КП, МКС-07 [Электронный ресурс] URL: <https://studfile.net/preview/9530969/page:14/> (дата обращения 20.04.2022).
4. Повышение коэффициента использования топлива в теплотехнических установках / А.М. Климов, Г.М. Климов, М.А. Кочева. – Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет [Электронный ресурс]

URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016018286?ysclid=12iwy36xb6> (дата обращения 23.04.2022).

5. Полное руководство по тестированию сайтов и веб-приложений [Электронный ресурс]: особенности тестирования веб-приложений. URL: <https://poisk-ru.ru/s28653t15.html> (дата обращения 23.04.2022).

6. Desktopное или веб-приложение: плюсы и минусы [Электронный ресурс] URL: <https://vc.ru/services/297762-desktopnoe-ili-veb-prilozhenie-plyusy-i-minusy?ysclid=12ix6067ux> (дата обращения 25.04.2022).

7. Общие сведения о платформе .NET [Электронный ресурс]: начало работы. URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/framework/get-started/overview?view=netcore-3.1> (дата обращения 25.04.2022).

УДК 519.683.8

**А. А. Першин, А. С. Блинков, И. А. Гурин**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## **ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФРЕЙМВОРКА VUE.JS ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ В МЕТАЛЛУРГИИ**

**Аннотация.** В статье рассмотрен принцип проектирования приложения с использованием фреймворка *Vue.js*, рассмотрена архитектура приложения и принцип использования нереляционной базы данных *firebase* в качестве backend приложения. Рассмотрено применение фреймворка *vue* при разработке информационно-моделирующей системы распределения горячего дутья и природного газа по фурмам доменной печи.

**Ключевые слова:** фреймворк, *Vue.js*, информационно-моделирующая система, нереляционная база данных, *javascript*.

**Abstract.** The article will consider the principle of designing an application using *Vue.js*, consider the application architecture and the principle of using a non-relational *firebase* database as a backend application. The application of the *Vue* framework will also be considered in the development of an information modeling system for calculating the distribution of hot blast and natural gas in blast furnace tuyeres.

**Key words:** framework, *Vue.js*, information modeling system, non-relational database, *javascript*.

### *Введение*

На сегодняшний день существует три основных фреймворка для разработки пользовательского интерфейса *Angular*, *React* и *Vue*. У каждого фреймворка есть свои сильные и слабые стороны. Остановимся на самом молодом и прогрессивном *Vue*, версия 1.0 которого вышла в четвертом квартале 2015 года.

В отличие от фреймворков-монолитов *Vue* создан подходящим для постепенного внедрения. Его ядро в первую очередь решает задачи уровня представления (*view*), что упрощает интеграцию с другими библиотеками и существующими проектами. С другой стороны, *Vue* полностью подходит и для создания