

## О СТРУКТУРЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

**И.Ю. Пчелинцева**

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,  
ул. Советская, 106, 392000, г. Тамбов, Россия, irina\_yu\_10@mail.ru*

В статье рассматривается информационная система для решения задачи минимизации неравномерности гальванических покрытий на плоских деталях в распределенной компьютерной среде. Описан вычислительный эксперимент, реализованный на кластере из 3-х и 4-х вычислительных узлов. Приведено сравнение использования вычислительных ресурсов кластера при минимальной неравномерной загрузке узлов.

**Ключевые слова:** параллельные вычисления; кластер; гальваническое покрытие; база данных; критерий неравномерности.

## ON THE STRUCTURE OF THE INFORMATION SYSTEM OF DISTRIBUTED INFORMATION PROCESSING TO IMPROVE THE QUALITY OF ELECTROPLATED COATINGS

**I.Yu. Pchelintseva**

*Tambov State Technical University,  
106 Sovetskaya Street, Tambov 392000, Russia, irina\_yu\_10@mail.ru*

In the article, the author considers an information system for solving the problem of minimizing the unevenness of electroplating coatings on flat parts in a distributed computer environment. A computational experiment implemented on a cluster of 3 and 4 nodes is described. A comparison of the use of computing resources of the cluster with a minimum uneven load of nodes is given.

**Keywords:** parallel computing; cluster; electroplating; database; non-uniformity criterion.

### **Введение**

В настоящее время получение равномерных гальванических покрытий на деталях является важной задачей. Одним из способов улучшения качества рассматриваемых покрытий является использование токопроводящих плоских экранов в гальванических ваннах. Варьируя количеством отверстий прямоугольной формы, а также их размером, можно добиться минимального значения критерия  $R$  неравномерности гальваниче-

ского покрытия, вычисляемого по соотношению текущей толщины покрытия к минимальной толщине [1].

Как показали многочисленные вычислительные эксперименты, описанные в работах [2, 3], задача минимизации критерия  $R$  требует значительных временных ресурсов. Например, программная реализация [4] метода полного перебора при нанесении покрытия на плоскую деталь прямоугольной формы на сетке в 900 узлов на решение данной задачи оптимизации затрачивает 5 ч. 6 мин. [2]. Это связано с тем, что на каждом шаге алгоритма решается дискретный аналог уравнения Лапласа и нелинейных краевых условий третьего рода – нелинейная система алгебраических уравнений из 900 неизвестных. Поэтому задача минимизации времени расчетов в данном случае является актуальной.

Одним из методов решения поставленной задачи является распараллеливание алгоритма полного перебора на сетке в распределенной компьютерной среде.

Цель работы – разработка информационной системы распределенной обработки информации для параллельного алгоритма полного перебора при минимизации критерия  $R$ .

Задачи исследования:

1. Разработать структуру общей памяти (сетевой базы данных) для параллельных процессов;
2. Описать алгоритм решения поставленной задачи в распределенной компьютерной среде;
3. Выбрать библиотеку параллельных вычислений;
4. Реализовать построенный алгоритм на вычислительном кластере;
5. Сравнить время выполнения последовательного и параллельного алгоритмов.

## 1. Структура сетевой базы данных

В сетевой базе данных предполагается хранение следующих данных: идентификатор (уникальный номер)  $idconf$  конфигурации экрана, флаг  $flcalc$  расчёта (0 – не досчитали (возникла ошибка), 1 – всё удачно вычислено), значения  $N_{pl}$  и  $PL$  – количество отверстий в экране и их ширина соответственно, измеряемая в шагах сетки, значение критерия  $R$ , номер  $numproc$  вычислительного процесса, обрабатывающего рассматриваемую конфигурацию экрана, и пару – номер  $NumCoord$  координаты на сетке на детали-катоде, для которой вычислена толщина покрытия, и само значение  $delta$  толщины.

Необходимо отметить, что первичным ключом здесь является поле  $idconf$ , т.к. оно определяет всю необходимую информацию о рассматри-

ваемой конфигурации экрана. Структура сетевой базы данных представлена на рис. 1.

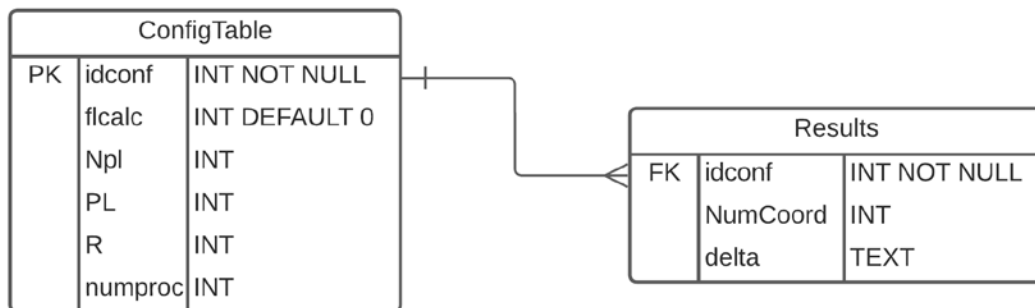


Рисунок 1 – Дatalogическая модель базы данных

## 2. Алгоритм минимизации критерия $R$ в распределенной компьютерной среде

На рис. 2 представлен алгоритм проведения параллельных вычислений для минимизации критерия неравномерности гальванического покрытия.

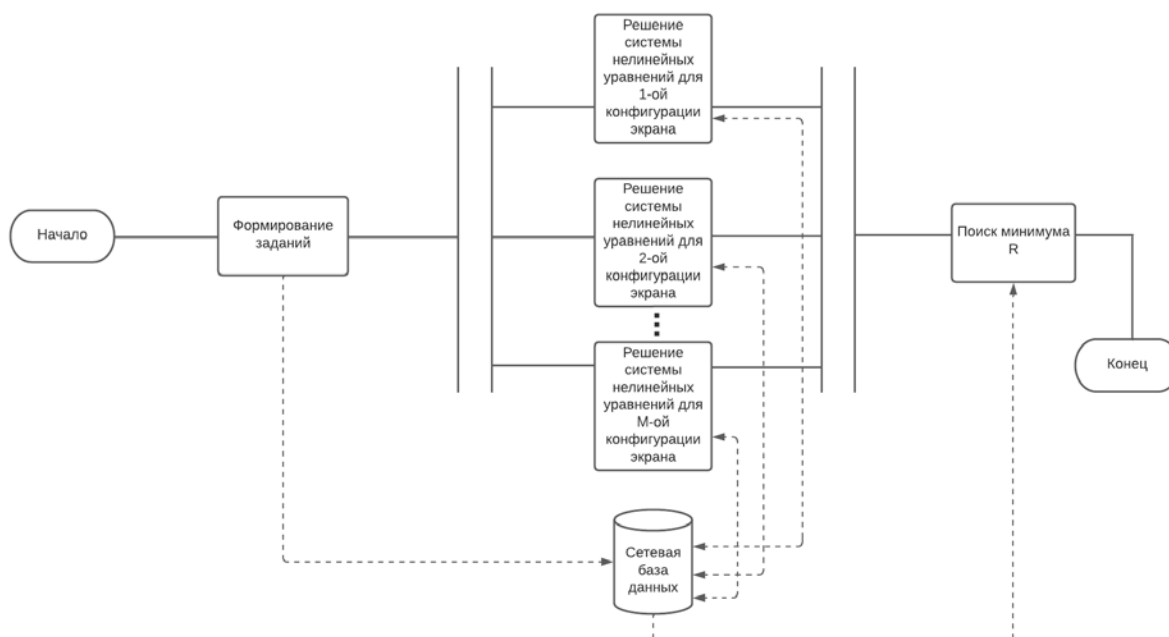


Рисунок 2 – Алгоритм проведения параллельных вычислений в распределённой компьютерной среде

Отметим, что в алгоритме предусмотрено распределение более одного задания на каждый параллельный процесс. При этом неравномерность

загрузки минимальна (количество заданий может отличаться от минимального количества на единицу).

Работа параллельных процессов в распределённой компьютерной среде осуществляется с помощью функций библиотеки языка С, входящей в программный пакет MPICH. Запущенный процесс, используя библиотечную функцию `MPI_Comm_rank()`, получает свой номер, по которому через поле `numproc` таблицы `ConfigTable` базы данных извлекает задания для расчётов.

Все расчёты были проведены сначала на вычислительном кластере из 3-х вычислительных узлов, а затем из 4-х узлов. На кластере была развёрнута система виртуализации Proxmox Virtual Environment, управляемая удалённо через веб-интерфейс. На каждом узле была установлена операционная система Arch Linux x86\_64 с версией ядра 5.13.19-2-*pv*, математический пакет Maxima 5.46.20 для решения большой нелинейной системы алгебраических уравнений через перенаправление ввода/вывода и программный пакет MPICH. На одном из узлов также был развёрнут сервер СУБД MySQL.

17 комбинаций допустимых значений  $N_{pl}$  и  $PL$  [2] были распределены по 17 параллельным процессам, т.е. по одной задаче на каждый процесс. При этом каждый узел имеет центральный процессор Intel Xeon CPU E5-2620 с 12-ти ядрами и тактовой частотой 2,1 ГГц. Поэтому схема запуска MPI-приложения на таком кластере следующая (с наименьшей неравномерной загрузкой): 5:6:6. Здесь каждое число отвечает за количество параллельных процессов, запущенных в соответствующем вычислительном узле. Для кластера из 4-х узлов: 4:4:4:5.

Динамика загрузки процессоров по всем узлам приведена на рис. 3 (данные получены из Proxmox).

Время работы алгоритма для 3-х вычислительных узлов составляет 43,5 мин., для 4-х узлов – 37,8 мин.

## **Заключение**

Для разработанного программного обеспечения было получено свидетельство о государственной регистрации [5].

Замечено, что при запуске приложения на кластере из 3-х вычислительных узлов часто наблюдается пиковая нагрузка 97% на некоторые процессоры. При этом один процесс распределяется в среднем на два ядра процессора. На 4-х узлах такое явление отсутствует. Поэтому и время работы приложения меньше.

Таким образом, рассмотренный в статье параллельный алгоритм значительно выигрывает по времени в сравнении с последовательным алго-

ритмом, но требует значительных ресурсов и процессоров узлов кластера, и памяти для развёртывания пакетов Maxima.

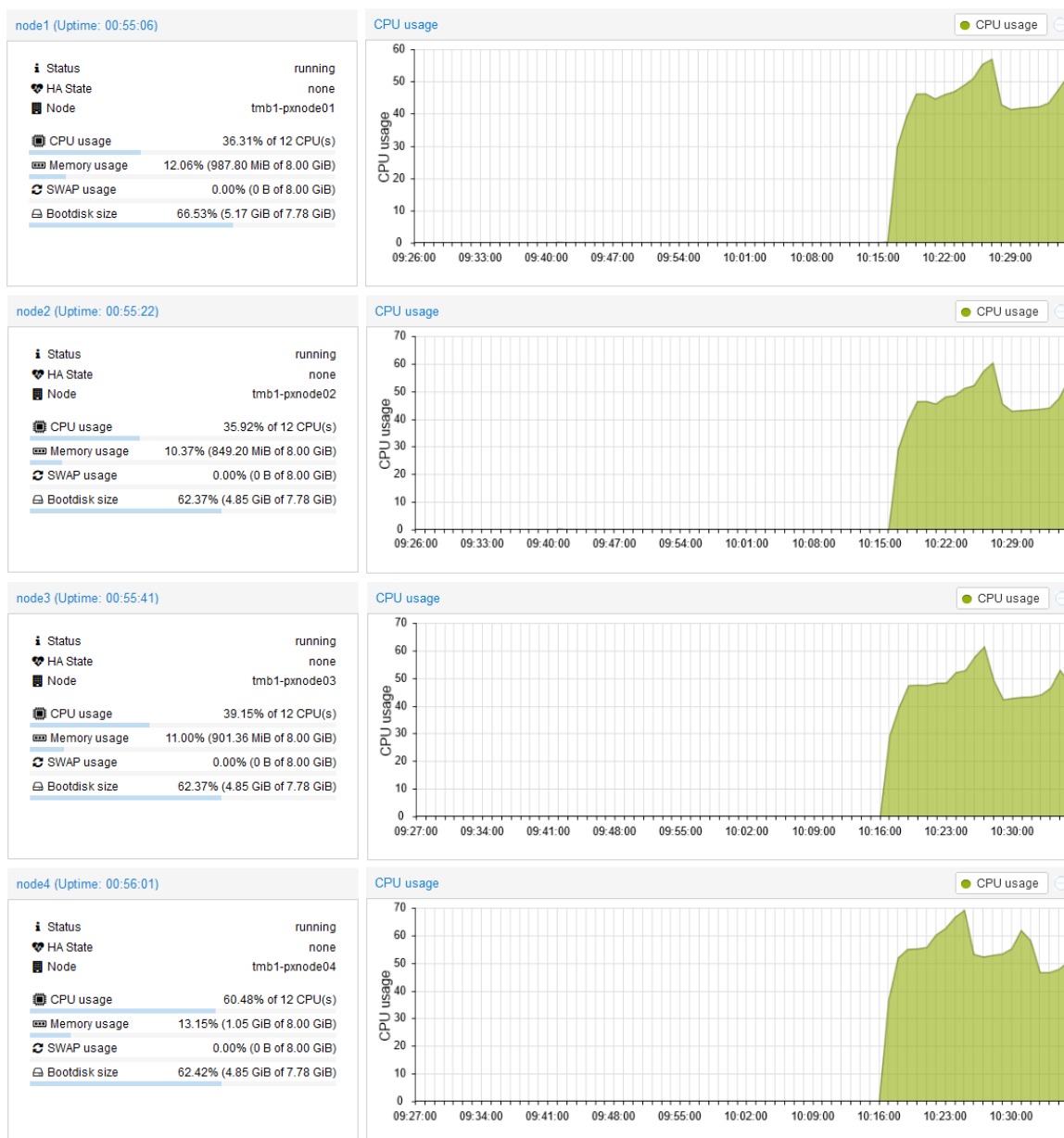


Рисунок 3 – Динамика загрузки узлов вычислительного кластера из 4-х узлов

### Библиографические ссылки

1. Симагин Д.Н., Литовка Ю.В. Процесс получения наномодифицированных цинковых покрытий с повышенной равномерностью. Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2013. № 19(4). С. 886–889. EDN: RSXNXZ.
2. Пчелинцева И.Ю., Литовка Ю.В. Система автоматизированного управления процессом нанесения гальванического покрытия в ванне с токонепроводящим экраном,

- Мехатроника, автоматизация, управление. 2022. № 23(4). С. 188–196. DOI: 10.17587/mau.23.188-196.
3. Pchelintseva I.Yu., Pchelintsev A.N., Litovka Y.V. Modeling of metal distribution when coating flat metal plates in electroplating baths // International Journal of Numerical Modeling: Electronic Networks, Devices and Fields. 2021. № 34(2). P. 2830. DOI: 10.1002/jnm.2830.
  4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021681432. Решение задачи оптимизации нанесения цинкового покрытия на плоскую деталь в гальванической ванне последовательным алгоритмом / И.Ю. Пчелинцева, Ю.В. Литовка. 21.12.2021 г. EDN: RHJPXB.
  5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022662881. Программа параллельных вычислений оптимальной конфигурации токонепроводящего экрана в гальванической ванне / И.Ю. Пчелинцева, Ю.В. Литовка. 07.07.2022 г. EDN: MHGULP.