

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА ВТ

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА

по дисциплине «Архитектура вычислительных  
систем»

Выполнил: студент гр. АММ2-24

Ириков Евгений Алексеевич

Проверил: к.т.н., доцент Кафедры

ВТ Перышкова Евгения

Николаевна

Новосибирск 2024

## Содержание

Постановка задачи.....	3
1.Анализ архитектуры суперкомпьютера <i>Tianhe-2A</i> .....	4
1.1 Основные характеристики <i>Tianhe-2A</i> .....	4
1.2. Структура вычислительных узлов <i>TianHe-2A</i> .....	5
1.3. Анализ коммуникационных сетей по функциональной структуре центрального процессора .....	6
1.4 Анализ коммуникационных сетей между центральным процессором одного узла.....	7
1.5 Анализ коммуникационных сетей между вычислительными узлами СВС .....	8
1.6 Анализ программного стека.....	10
1.7 Область применения .....	11
2.Оценка параметров вычислительной системы.....	11
2.1 Функция надёжности .....	11
2.2 Функция осуществимости решения задач.....	12

## **Постановка задачи**

Выполнить анализ иерархии структур коммуникационных сетей супер вычислительной системы *Tianhe-2A* (№ 6 в списке *Top500* за ноябрь 2020). В соответствии с моделью коллектива вычислителей выделить и описать уровни мультиархитектуры супер вычислительной системы. В том числе для каждого уровня показать функциональную структуру, сущность вычислителя, топологию сети связей, доступные технологии программирования и область эффективного применения, а также структурные характеристики.

Расчет структурных характеристик (диаметр, средний диаметр, бисекционная пропускная способность) выполнить для одного из уровней мультиархитектуры.

## 1. Анализ архитектуры суперкомпьютера *Tianhe-2A*

### 1.1 Основные характеристики *Tianhe-2A*

TianHe-2A (TH-2A, иногда «Milkyway») - вычислительная система, расположенная в Национальном суперкомпьютерном центре в Гуанчжоу. Была спроектирована в 2013 году китайским национальным университетом оборонных технологий (NUDT) и компанией Inspur, представляет собой модернизацию системы TianHe-2 (TH-2)[9]. Являлся самым быстрым суперкомпьютером в мире в рейтинге TOP500 с июня 2013 года по ноябрь 2015 года[2].

Компоненты	TianHe-2A
Производитель	NUDT
Узлы	17792
Ядра	4,981,760
Оперативная память	3,4 PB
Память	19 PB
Процессор	Intel Xeon E5-2692v2 12C 2.2GHz+ Matrix-2000
Интерконнект	TH Express-2, 14 GB/s
Узлы	17792

Таблица 1. Основные характеристики *TianHe-2A*

## 1.2. Структура вычислительных узлов TianHe-2A

Ключевым отличием модернизированной версии вычислительной системы TianHe-2A от её старой версии 2015 года заключается в замене ускорителей Xeon Phi на сопроцессоры собственного производства - Matrix-2000. Таким образом, каждый из 17 792 вычислительных узлов TH-2A использует два процессора Intel Ivy Bridge (12 ядер с тактовой частотой 2,2 GHz) и два новых ускорителя Matrix-2000(128 ядер)[3]. Каждый узел имеет 192 GB памяти и пиковую производительность 5,3376 Tflap/s. Результатом этой комбинации является вычислительная система с 35 584 процессорами Ivy Bridge, 35 584 ускорителями Matrix-2000 и в общей сложности содержит 4 981 760 вычислительных ядер.[7]

Каждое из 12 вычислительных ядер Intel Ivy Bridge может выполнять 8 (64-битных) FLOP за такт, что дает общую пиковую производительность 211,2 Gflop/s на процессор (12 ядер  $\times$  8 FLOP на такт  $\times$  2,2 GHz тактовой частоты). Каждое из 128 вычислительных ядер Matrix-2000 может выполнять 16 FLOP с двойной точностью за такт, что дает общую пиковую производительность 2,4576 Tflap/s для каждого ускорителя (128 ядер  $\times$  16 FLOP на такт  $\times$  1,2 GHz тактовой частоты). Энергопотребление ускорителя составляет около 240 Вт, а его размеры - 66 на 66 мм. Ускоритель поддерживает восемь каналов DDR4-2400 и имеет RISC архитектуру, расширенную набором команд ISA.[3]

Каждый узел занимает половину материнской платы (Compute blade), 8 плат устанавливаются в одно шасси (Compute frame). В стойке с каждой стороны размещается по 4 шасси, в суперкомпьютере использовано 125 стоек с вычислительными узлами и 13 стоек с сетевым оборудованием и 24 стойки системы хранения данных.



Рис 1. Один из вычислительных узлов TianHe-2A

### 1.3. Анализ коммуникационных сетей по функциональной структуре центрального процессора

Центрального процессор *Intel Xeon E5-2692 v2* состоит из 12 физических ядер с поддержкой технологии *Hyper Threading*. Имеет кеш 3-го уровня 30720 КВ. Процессор предназначен для серверов, разъем - LGA2011.

Имеет встроенный контроллер оперативной памяти (4 канала, DDR3-800, DDR3-1066, DDR3-1333, DDR3-1600, DDR3-1866) и контроллер PCI Express 3.0 (количество линий - 40).[4]

Процессор обладает двумя последовательными кэш-когерентными шинами (*QuickPath Interconnect (QPI)*), предназначенными для установления канала коммуникаций между процессорами или процессором и чипсетом. Встроенный контроллер памяти (*Integrated Memory Controller (IMC)*) отвечает за доступ процессора к оперативной памяти системы.

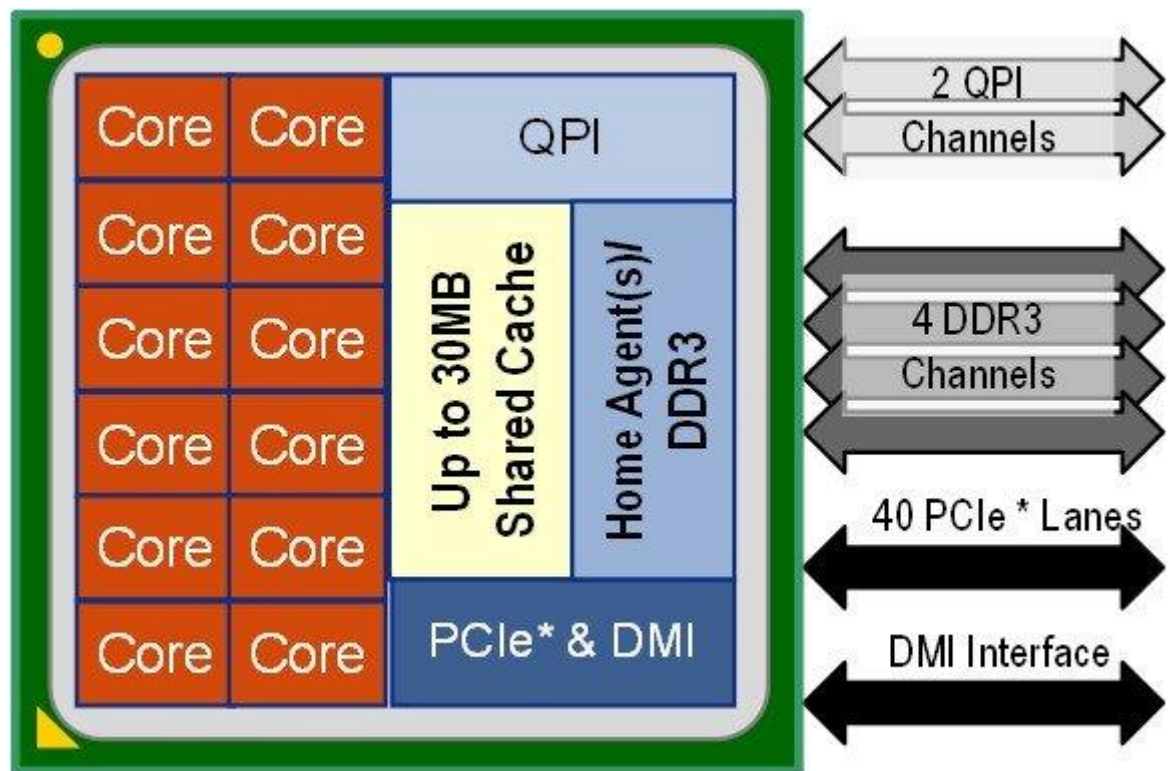


Рис 2. Устройство процессора Intel Xeon E5-2692 v2

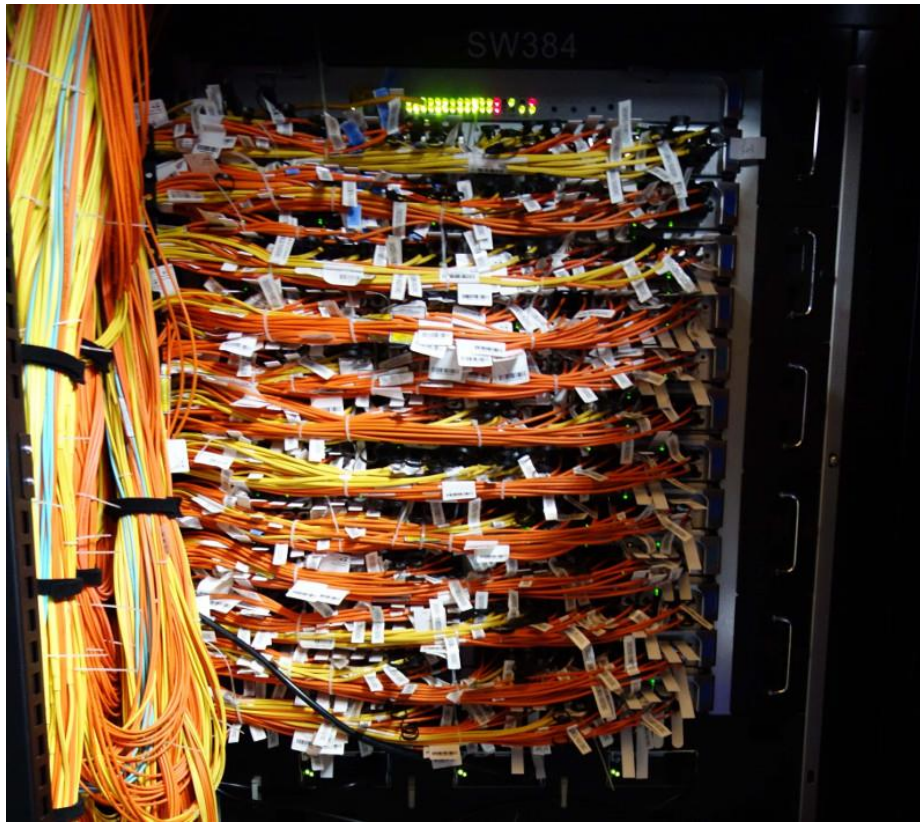
Благодаря наличию двух шин *QPI* процессор *Intel Xeon E5-2692 v2* может использоваться в многопроцессорных системах: одна отвечает за коммуникацию с чипсетом, вторая – со вторым процессором.

#### 1.4 Анализ коммуникационных сетей между центральным процессором одного узла

Коммуникация последних поколений процессоров *Intel* друг с другом осуществляется через последовательные кэш-когерентные шины (*QuickPath Interconnect (QPI)*), впервые выпущенные в 2008 году. Основное достоинство интерфейса *QPI* – это более высокая пропускная способность, чем у оперативной памяти (25.6 Гбайт/с у шины *QPI* [5] против 19200 Мбайт/с (18.75 Гбайт/с) у стандарта оперативной памяти *DDR3-2400*, используемого в *TH-IVB-FEP* ).

Процессоры, до создания *QPI*, взаимодействовали друг с другом через шину *Front-Side Bus (FSB)*. Недостаток шины *FSB* заключается в совмещении её с контроллером памяти, из-за чего ЦП обращались друг к другу через

оперативную память.[8] Ныне ЦП взаимодействуют друг с другом напрямую через *QPI*, без посредника (оперативной памяти), что повысило эффективность работы многопроцессорных систем.



*Рис 3. Фрагмент сетевой инфраструктуры TianHe-2a*

### **1.5 Анализ коммуникационных сетей между вычислительными узлами СВС**

Узлы СВС *Tianhe-2* соединены друг с другом интерконнектом *TH Express-2*, сочетающем в себе функции сетевой карты и маршрутизатора. *TH Express-2* имеет 576 портов для сетевых соединений. Топология данной СВС – Fat Tree[6], изобретённая Чарльзом Лейзерсоном из MIT, является дешевой и эффективной для суперкомпьютеров. В отличие от классической топологии дерева, в которой все связи между узлами одинаковы, связи в утолщённом дереве становятся более широкими (толстыми, производительными по пропускной способности) с каждым уровнем по мере приближения к корню дерева. Часто используют удвоение пропускной способности на каждом уровне.[3]



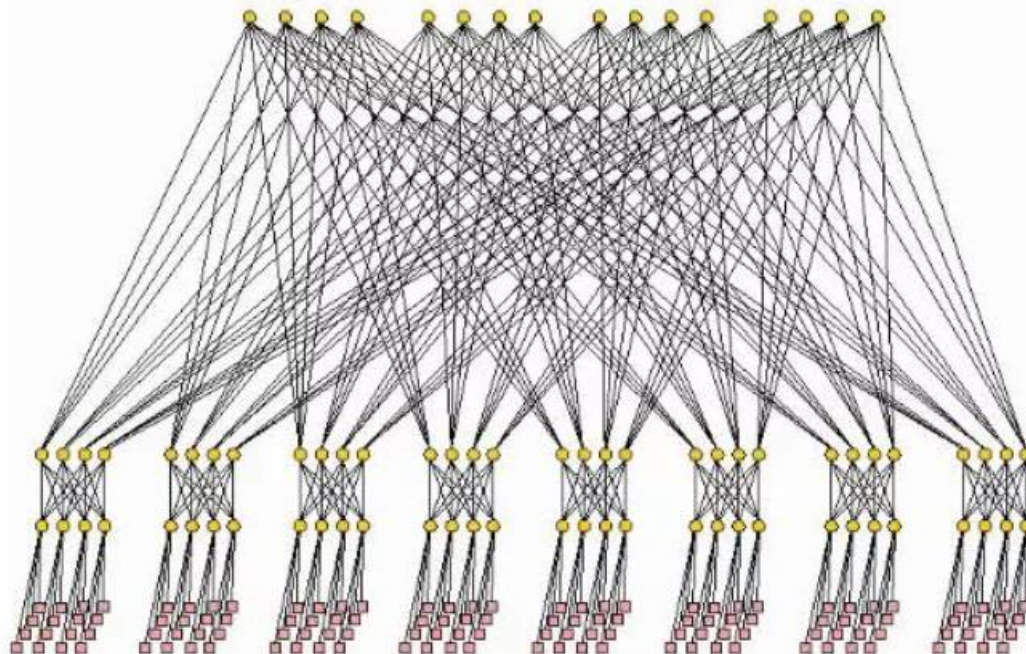


Рис 3. Схема топологии Fat Tree

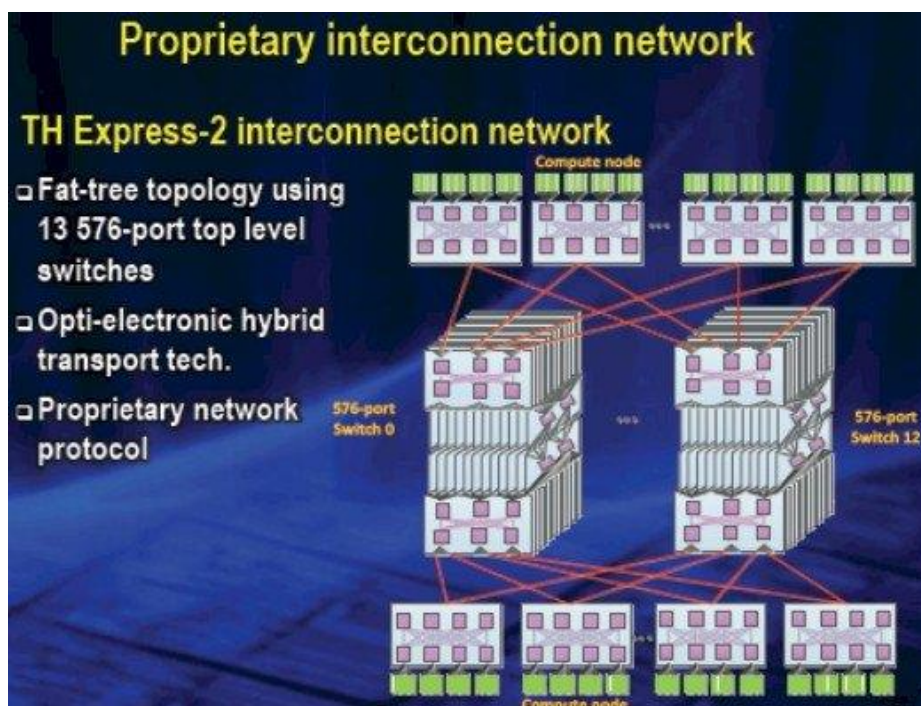


Рис 4. Схема TH Express-2

Учитывая довольно большое количество сетевых портов (576 штук), можно констатировать, что машины TH-IVB-FEP предназначены для производства вычислений в распределённых сетевых системах.

## 1.6 Анализ программного стека

Модернизация ТН-2А потребовала разработки и реализации стека программного обеспечения для ускорителя Matrix-2000. Этот программный стек предоставляет среду компиляции и выполнения для OpenMP 4.5 и OpenCL 1.2. В режиме ядра имеется облегченная операционная система на основе Linux со встроенным драйвером ускорителя, работающая на Matrix-2000, которая обеспечивает управление ресурсами устройства и обмен данными с центральным процессором через соединение PCI Express. ОС управляет вычислительными ядрами с помощью тщательно разработанного механизма пула потоков, который позволяет планировать задачи с низкими издержками и высокой эффективностью. В режиме пользователя имеется библиотека симметричной связи, предоставляющая такие функции как соединение (установление сокет-соединений между процессами на разных узлах сети), обмен сообщениями (обмен короткими сообщениями, чувствительными к задержке, такими как команды и операции синхронизации), и операции RMA (для передачи больших объемов данных, оптимизированные для задач, чувствительных к пропускной способности). [6]

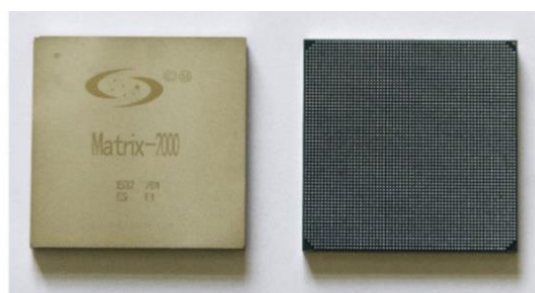


Figure 1. Matrix-2000.

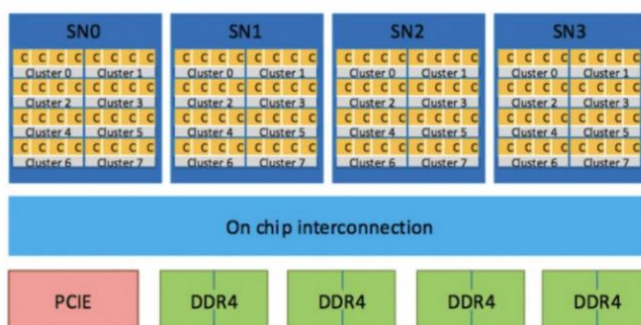


Рис 5. Ускоритель Matrix-2000

## 1.7 Область применения

Столь мощные компьютеры как «TianHe-2A» незаменимы при использовании в космических исследованиях, исследовании термоядерного оружия, криптографии, анализе климатических изменений.

## 2. Оценка параметров вычислительной системы

### 2.1 Функция надёжности

Функцией надёжности Электронно-вычислительной машины (ЭВМ) называется функция

$$R(t) = P\{\forall \tau \in [0, t) \rightarrow \omega(\tau) = 1\}, \quad (2.1)$$

где  $P\{\forall \tau \in [0, t) \rightarrow \omega(\tau) = 1\}$  – вероятность того, что для всякого  $\tau$ , принадлежащего промежутку времени  $[0, t)$ , производительность  $\omega(\tau)$  ЭВМ равна единице, то есть (т.е.) потенциально возможной [1, с. 84]. В нормальных условиях эксплуатации ЭВМ интенсивности отказов равна константе (т.е.  $\lambda = \text{const}$ ) [1, с. 86].

Среднее время безотказной работы  $\vartheta$

$$\vartheta = \frac{1}{\lambda}, \quad (2.3)$$

где  $\vartheta = 10^2$  ч.

Исходя из формулы (2.3), можно легко выразить интенсивность отказов

$$\lambda = \frac{1}{\vartheta}. \quad (2.4)$$

Исходя из формулы (2.4), интенсивность отказов ( $\lambda$ ) равна **0,01**.

Функция надёжности равна

$$R(t) = e^{-\lambda t}.$$

t	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
R(t)	1	0,367	0,135	0,049	0,018	0,007	0,002	0,001	0,0003	0,0001	0,00005

Таблица 2.1 Значение функции надёжности

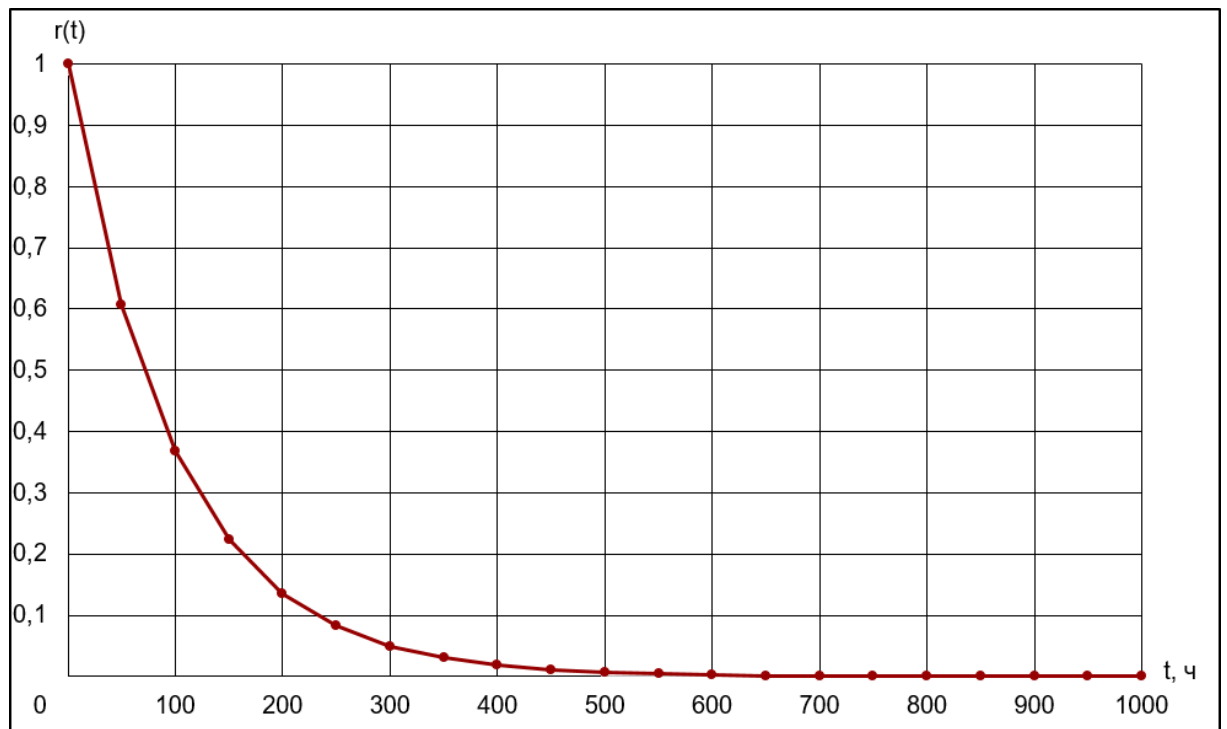


Рисунок 2.1 График зависимости функции надёжности от времени

## 2.2 Функция осуществимости решения задач

Функция  $\Phi(t)$  – это вероятностный закон решения сложной задачи на любой совокупности из  $n$  работоспособных машин при произвольном их распределении в пределах всей ВС. Вид этого закона устанавливается на основе статистической обработки результатов решения задач на ВС [1, с. 479].

При эксплуатации ВС статистически установлено, что закон распределения времени решения простых задач на одной машине является экспоненциальным. Данный факт и опыт решения сложных задач на ВС позволяют считать, что [2, с. 479]

$$\Phi(t) = 1 - e^{-\beta t}, \quad (2.6)$$

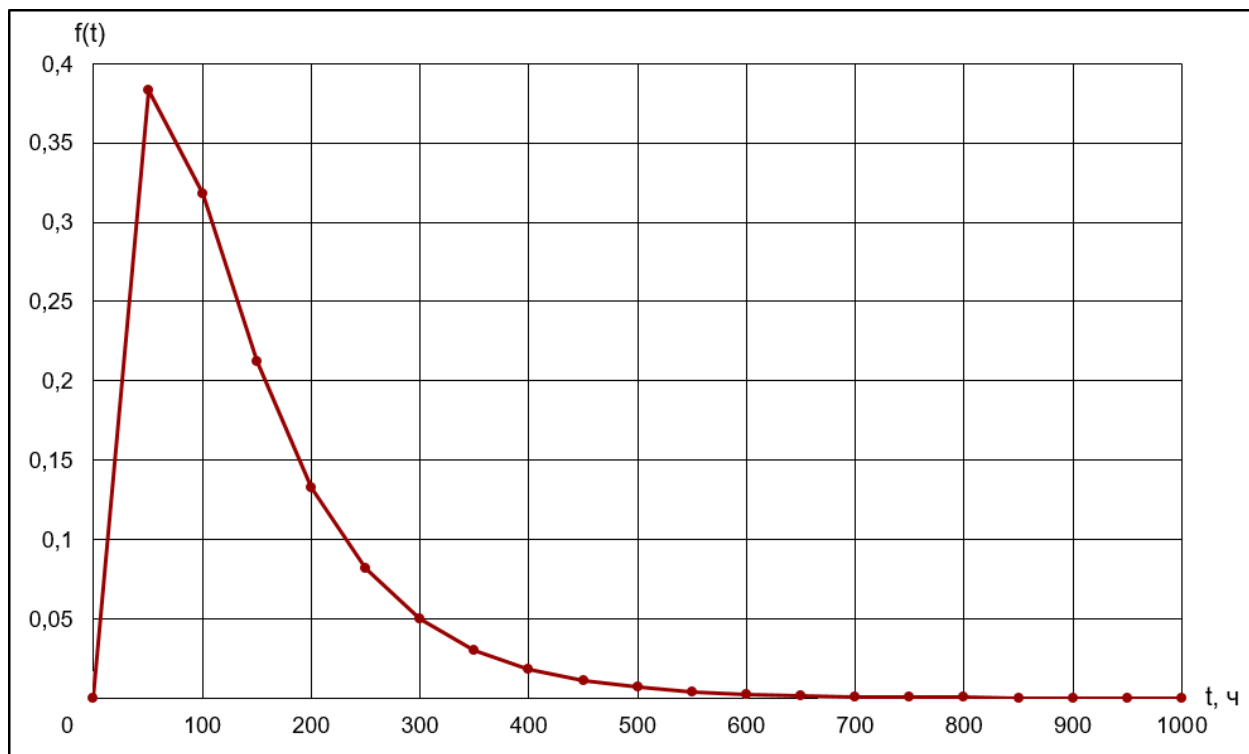
где  $\beta = 0,02$  1/ч.

Собственно, осуществимость решения задач оценивается функцией

$$F(t) = R(t) * \Phi(t), \quad (2.7)$$

t	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
F(t)	0	0,318	0,133	0,048	0,018	0,007	0,002	0,001	0,0003	0,0001	0,00005

*Таблица 2.2 Значения функции осуществимости решения задач*



*Рисунок 2.2. График зависимости функции осуществимости решения задач от времени*

## Список литературы

1. Хорошевский В.Г. Архитектура вычислительных систем: Учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.
2. November 2020 | TOP500 Supercomputer Sites [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные. – URL: <https://www.top500.org/lists/2020/11> (Дата обращения: 01.12.2020).
3. Суперкомпьютер Inspur TianHe-2A [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные. – URL: <https://parallel.ru/computers/reviews/tianhe-2a.html> (Дата обращения: 20.12.2020).
4. Intel Xeon E5-2692 v2 [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные. – URL: [https://www.chaynikam.info/Xeon\\_E5-2692\\_v2.html](https://www.chaynikam.info/Xeon_E5-2692_v2.html) (Дата обращения: 20.12.2020).
5. QPI – шина Intel. Скоростные характеристики, принцип работы | xTechx.ru [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные. – URL: <http://www.xtechx.ru/c40-visokotehnologichni-spravochnik-hitech-book/qpi-intel-interface/> (Дата обращения: 20.12.2020).
6. Fat Tree [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Fat\\_tree](https://ru.wikipedia.org/wiki/Fat_tree) (Дата обращения: 20.12.2020).
7. Тяньхэ-2 [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные. – URL: <https://wikizero.com/ru/Tianhe-2tree> (Дата обращения: 20.12.2020).
8. Китайский суперкомпьютер Тяньхэ-2 возглавил мировой рейтинг Top500. [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные. – URL: <https://habr.com/ru/post/183598> (Дата обращения: 20.12.2020).
9. Tianhe-2 [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные. – URL: <http://i.cons-systems.ru/u/73/9379d22eba11e5ab71f9a9cda70bf5/-/Tianhe-2.pdf> (Дата обращения: 20.12.2020).