

# **НАДЕЖНОСТЬ И ЖИВУЧЕСТЬ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

# ВВЕДЕНИЕ

- ✗ Современные высокопроизводительные средства обработки информации – это мультикомпьютерные системы (Distributed Computer Systems - DCS), системы с массовым параллелизмом (Massively Parallel Processing Systems - MPP).
- ✗ Число функционально-конструктивных элементов обработки информации (элементарных машин или процессоров) в них уже сейчас имеет порядок  $10^6$ .
- ✗ Это обстоятельство даёт основание специалистам в области анализа *эффективности* (производительности, надёжности, живучести и технико-экономической эффективности) средств обработки информации называть распределённые ВС **большемасштабными** (Large-Scalable Computer Systems - LSCS).

# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭВМ

Основополагающими понятиями теории надежности ЭВМ являются **отказ** и **восстановление**.

**Отказом** - называется событие, при котором ЭВМ теряет способность выполнять заданные функции по переработке информации (включая функции по вводу и выводу информации, хранению и собственно преобразованию информации).

**Полный отказ** приводит к абсолютному нарушению работоспособности ЭВМ.

**Частичный отказ** ЭВМ вызывает ухудшение качества её функционирования.



# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭВМ

*Отказы* приводят к таким изменениям в функционировании ЭВМ, которые носят постоянный характер.

Устойчивые отказы могут быть устранены только в результате ремонта (или восстановления) машины.

Наряду с отказами в ЭВМ происходят неожиданные изменения физических параметров, когда они выходят за допустимые пределы. Такие изменения носят временный характер, они самоустраняются и называются перемежающимися (или неустойчивыми) отказами или **сбоями**.

# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭВМ

Можно выделить следующие виды отказов:

- ✗ **внезапный отказ** – скачкообразное изменение параметров;
- ✗ **постепенный отказ** – постепенное изменение параметров;
- ✗ **независимый отказ** – независим от отказов других элементов;
- ✗ **зависимый отказ** – зависит от других отказов;
- ✗ **полный (окончательный, устойчивый) отказ** – устраняется только ремонтом;
- ✗ **сбой** – самоустраняющийся отказ;
- ✗ **перемежающийся отказ** – многократный сбой.

# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭВМ

Виды состояния системы:

- ✗ **исправное** – нет ни одной неисправности;
- ✗ **работоспособное** – все функции выполняются;
- ✗ **неисправное** – имеется хотя бы одна неисправность;
- ✗ **отказ** – не выполняется хотя бы одна функция;
- ✗ **предельное** – состояние технической невозможности или нецелесообразности дальнейшей эксплуатации.

При *неисправности* система может находиться в работоспособном состоянии.

При *отказе* система неработоспособна.



# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭВМ

**Восстановлением** - называется событие, заключающееся в том, что отказавшая ЭВМ полностью приобретает способность выполнять заданные функции по обработке информации.

Восстановление отказавшей ЭВМ может быть осуществлено автоматически (в общем случае с помощью аппаратурно-программных средств) или полуавтоматически (с участием бригады технического обслуживания).

Будем считать, что восстановление производится средством, называемым *восстанавливающим устройством* (ВУ).

# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭВМ

Под надёжностью ВС будем понимать свойство системы сохранять заданный уровень производительности путём программной настройки её структуры и программной организации функционального взаимодействия между её ресурсами.

Или иначе, **надежность** – свойство объекта сохранять **во времени** в установленных пределах значения всех **параметров**, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных **режимах и условиях** применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки.



# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭВМ

Выделяют следующие свойства надежности:

- ✗ **безотказность** – свойство изделия непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени;
- ✗ **ремонтпригодность** – свойство изделия обеспечивать восстановление работоспособности или исправности изделия после отказа;
- ✗ **долговечность** – свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния при наличии технического обслуживания и ремонта;
- ✗ **сохраняемость** – свойство изделия непрерывно сохранять работоспособность при хранении и транспортировке.

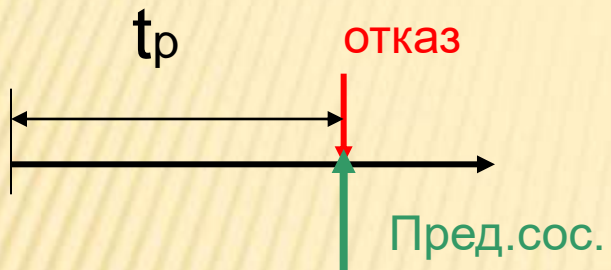
# ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СО СТРУКТУРНОЙ ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ

Типы существующих вычислительных систем:

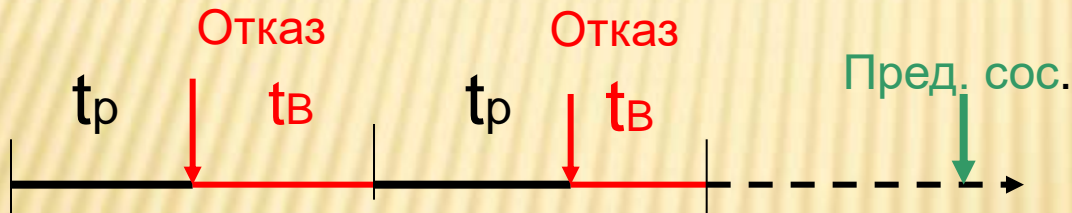
- 1) **простая** – имеет два состояния: рабочее и отказ;
- 2) **сложная** – имеет множество состояний: рабочее, отказ, восстановление, профилактика;
- 3) **не восстанавливаемая** – не подлежит восстановлению после отказа;
- 4) **восстанавливаемая** – возможно восстановление после отказа;
- 5) **не избыточная** – при отказе одного элемента – отказ системы;
- 6) **избыточная** – при отказе некоторого количества элементов - система работоспособна.

# ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СО СТРУКТУРНОЙ ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ

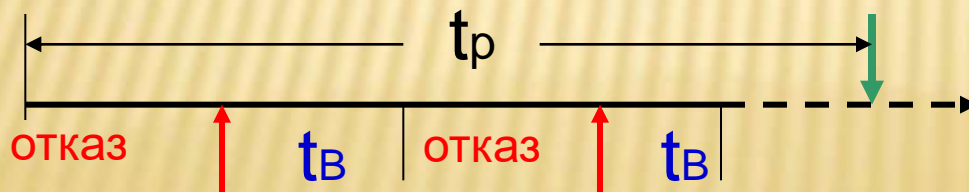
- ✗ Не восстанавливаемая



- ✗ Восстанавливаемая с перерывом



- ✗ Восстан. без перерыва





# ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СО СТРУКТУРНОЙ ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ

Вычислительные системы, komponуются, в общем случае, из неабсолютно надёжных элементарных машин.

Например, если  $\lambda$  – интенсивность потока отказов в любой из  $N$  элементарных машин, тогда  $1/\lambda$  – среднее время безотказной работы одной ЭМ.

Отказы, возникающие в вычислительной системе, устраняются при помощи процедуры восстановления.

В теории потенциальной надёжности ВС введены системы **со структурной избыточностью**, которые являются обобщением систем с резервом.

# ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СО СТРУКТУРНОЙ ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ

Вычислительная система со структурной избыточностью, в сущности, есть виртуальная ВС или, точнее, программно настроенная конфигурация, в которой:

- 1) выделены **основная подсистема** из  $n$  элементарных машин и **подсистемы**, составляющие **избыточность** из  $(N - n)$  машин ( $n \neq 0, n \in E_0^N$ );
- 2) основная подсистема предназначена для решения сложных задач из  $n$  ветвей, а любая подчинённая подсистема – для решения фоновых задач;
- 3) функции отказавшей ЭМ основной подсистемы может взять на себя любая исправная ЭМ любой подчинённой подсистемы.

# ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

- ✗ **Функцию надёжности** определим как вероятность того, что производительность ВС, начавшей функционировать в состоянии  $i$  ( $n \leq i \leq N$ ), равна на промежутке времени  $[0, t]$  производительности основной подсистемы:

$$R(t) = P\{\forall \tau \in [0, t] \rightarrow \Omega(\tau) = A_n \omega_n \mid n \leq i \leq N\},$$

$\Omega(\tau)$  – производительность системы в момент времени  $\tau$ .

Говоря иначе, функция  $R(t)$  есть вероятность того, что в системе на промежутке времени  $[0, t]$  будет не менее  $n$  исправных машин.



# ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

- ✗ Под функцией восстановимости  $U(t)$  будем понимать вероятность того, что в ВС, имеющей начальное состояние  $0 \leq i < n$ , будет восстановлен на промежутке времени  $[0, t]$  уровень производительности, равный производительности основной подсистемы.
- ✗ Функцией готовности  $S(t)$  назовём вероятность того, что производительность системы в момент времени  $t \geq 0$  равна производительности основной подсистемы.

# ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Таким образом, функции *надежности* и *готовности* характеризуют способности ВС обеспечить требуемое быстроедействие на промежутке времени  $[0, t]$  и в момент  $t \geq 0$  соответственно.

Функция *восстановимости* раскрывает возможности системы к восстановлению, т.е. характеризует способность системы приобретать требуемый уровень производительности после отказа всех избыточных машин и части машин основной подсистемы.

Основное прикладное значение введенных показателей надёжности ВС – они устанавливают взаимосвязь между производительностью и собственно надёжностью ВС.

# ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Показатели надёжности для стационарного режима (т.е. при длительной эксплуатации ЭВМ) функционирования ВС, в частности, информируют о следующем:

- 1) могут ли быть решены поступающие задачи, если система длительно эксплуатируется;
- 2) сколь быстро можно ожидать восстановления требуемого уровня производительности в условиях, когда ВС уже длительно эксплуатируется;
- 3) будет ли система иметь необходимую производительность в любой момент поступления задачи.



# ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

К методике расчёта показателей качества работы вычислительных систем предъявляются следующие требования:

1. Приемлемости методики к большемасштабным и масштабируемым вычислительным системам
2. Адекватности стохастических моделей функционирования ВС реальному процессу их работы т.е. реализации принципа квазианалогии
3. Единообразия методов и приёмов исследования функционирования ВС как в переходном, так и в стационарном режимах

# ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

4. Простоты численного анализа функционирования ВС при произвольном числе машин
5. Возможности выявления общих количественных закономерностей по производительности и надёжности функционирования ВС, которые отражают достигнутый и перспективный уровни технологии вычислительной техники.

# ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ



Рисунок 1 - Модель функционирования ВС  
со структурной избыточностью



# ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

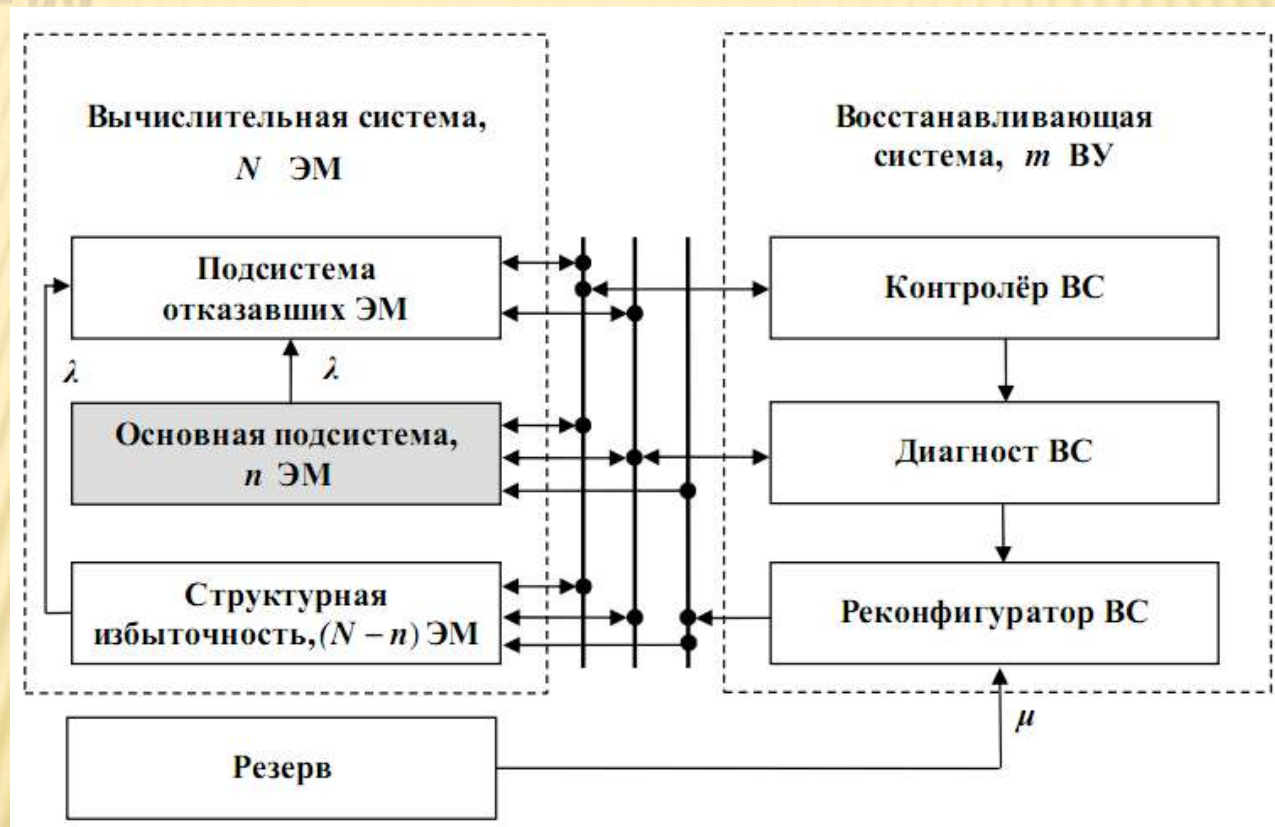


Рисунок 2 - Модель функционирования большемасштабных ВС со структурной избыточностью

# МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

Имеется три основных метода повышения надежности:

1. Существенное уменьшение *интенсивности отказов*, что требует больших затрат и времени
2. Использование *восстановления*, что требует перерыва в работе и затрат на средства локализации и исправления отказов.
3. Введение *избыточности*, которое производится двумя основными способами :
  - резервирование;
  - избыточное кодирование

# МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

- ✗ **Резервирование** – метод повышения надежности, когда к одному основному устройству добавляется несколько дополнительных - резервных устройств с теми же функциями, которые работают совместно с основным или включаются после его отказа.
- ✗ **Избыточный блок** – содержит основное и резервные устройства, Избыточный блок отказывает при отказе всех устройств или при отказе определенного их количества. Количество устройств в избыточном блоке называется кратностью резервирования



# МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

Способы включения резервного оборудования:

- ✗ **общее** резервирование – на уровне всей системы;
- ✗ **раздельное** резервирование – на уровне части системы;
- ✗ **скользящее** резервирование – все устройства системы идентичны, любое основное заменяет любое резервное.

# МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

Режимы работы резервного оборудования:

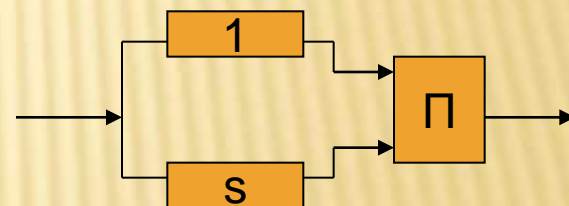
- ✗ горячий резерв – рабочий режим функционирования
- ✗ теплый резерв – облегченный режим функционирования
- ✗ холодный резерв – устройство выключено

# МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

Реакция на отказ:

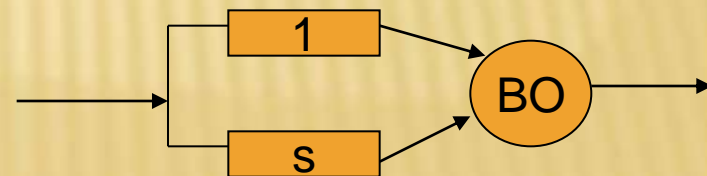
✗ активное резервирование (замещением), резервное устройство подключается после отказа основного;

П - переключатель



✗ пассивное (постоянное) резервирование, резервные устройства работают вместе с основным.

ВО – восстанавливающий орган





# ЖИВУЧЕСТЬ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Живучесть – это отличительная особенность средств обработки информации, основанных на модели коллектива вычислителей, например MPP-систем.

Под **живучестью** понимается способность ВС в любой момент функционирования использовать суммарную производительность всех исправных ресурсов для решения задач.

# ЖИВУЧЕСТЬ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Живучесть ВС рассматривается в двух аспектах:  
*потенциальном и структурном.*

- ✗ При анализе потенциальной живучести ВС особенности структуры или сети межмашинных связей в прямом виде не учитываются, и считается, что в системе обеспечиваются возможности по достижению необходимой связности исправных ЭМ.
- ✗ При изучении структурной живучести ВС, учитываются топологический вид сети межмашинных связей и надёжностные характеристики компонентов этой сети.

# ЖИВУЧИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

- ✗ В современных распределённых вычислительных системах единицей вычислительных ресурсов выступает элементарная машина (ЭМ).
- ✗ Программы, при реализации которых автоматически устанавливается число параллельных ветвей, равное числу работоспособных ЭМ в текущий момент времени, относятся к *адаптирующимся*.



# ЖИВУЧИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Под живучей вычислительной системой понимается (виртуальная) конфигурация из  $N$  элементарных машин, в которой:

- 1) указано минимально допустимое число  $n$  работоспособных ЭМ, обеспечивающее производительность системы не менее требуемой;
- 2) реализована возможность решения сложных задач, представленных адаптирующимися параллельными программами;
- 3) отказы любых ЭМ (вплоть до числа  $N - n$ ) и восстановления отказавших машин приводят только к увеличению или уменьшению времени реализации параллельной программы;

# ЖИВУЧИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

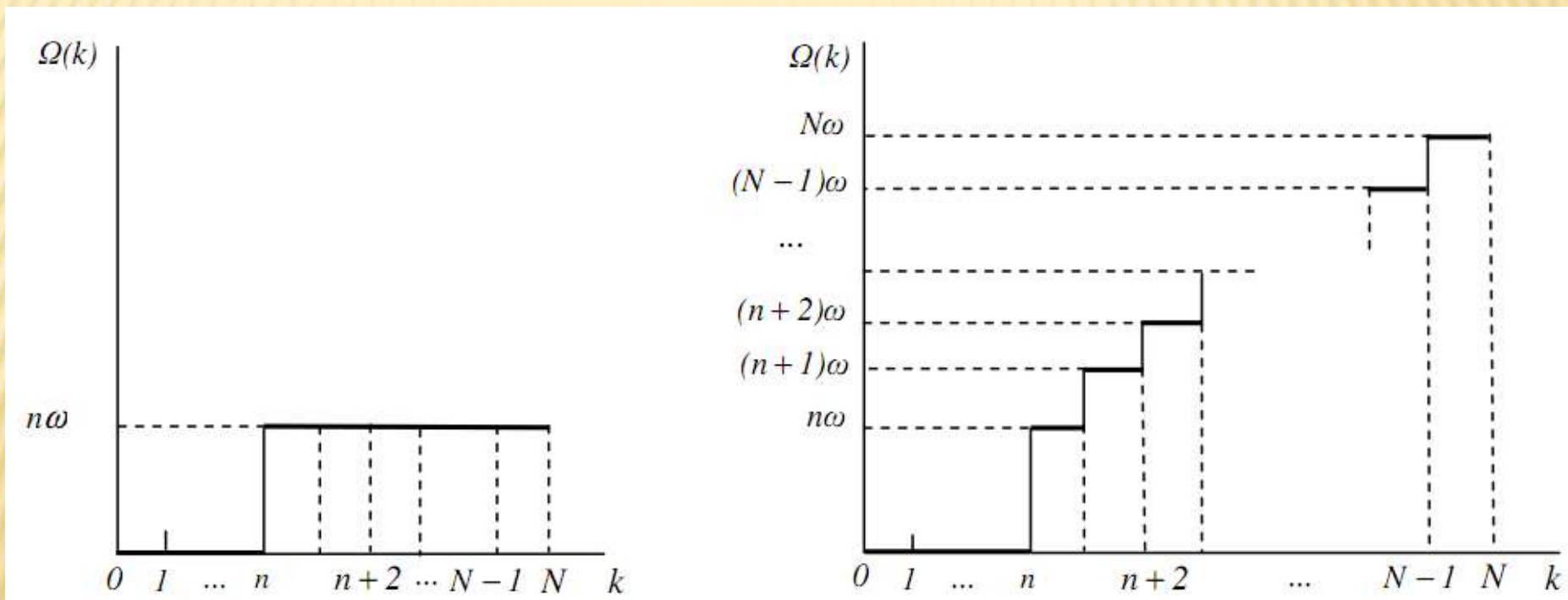


Рисунок 3. Производительность вычислительных систем  
а) – ВС со структурной избыточностью; б) – живучие ВС

# ПОКАЗАТЕЛИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЖИВУЧЕСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Функцией потенциальной живучести ВС назовём отношение

$$\times \quad N(i,t) = N(i,t)/N,$$

$N(i,t)$  – среднее число работоспособных машин в момент  $t \geq 0$  при условии, что система начала функционировать в состоянии  $i$ .



# ПОКАЗАТЕЛИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЖИВУЧЕСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Функцией занятости восстанавливающей системы назовём

$$\times M(i, t) = M(i, t) / m,$$

$M(i, t)$  – математическое ожидание числа занятых восстанавливающих устройств в момент времени  $t \geq 0$  при условии, что ВС начала функционировать в состоянии  $i$  ;

$m$  – число устройств в восстанавливающей системе.

# ПОКАЗАТЕЛИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЖИВУЧЕСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Функция потенциальной живучести ВС информирует о том:

- 1) как быстро система, начавшая функционировать в одном из возможных состояний, войдёт в стационарный режим работы;
- 2) какую производительность в среднем может обеспечить система в любой момент времени при длительной эксплуатации;
- 3) сколько машин в среднем может быть использовано при решении задачи (сколько в среднем ветвей будет иметь место при реализации адаптирующейся параллельной программы).

# ПОКАЗАТЕЛИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЖИВУЧЕСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Функция занятости восстанавливающей системы даёт следующую информацию:

- 1) за какое время после начала работы ВС наступит установившийся режим восстановления отказавших машин;
- 2) как загружены в среднем восстанавливающие устройства на начальном участке работы ВС и после длительной её эксплуатации, т.е. насколько эффективен выбранный состав восстанавливающих устройств.



# О МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖИВУЧЕСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

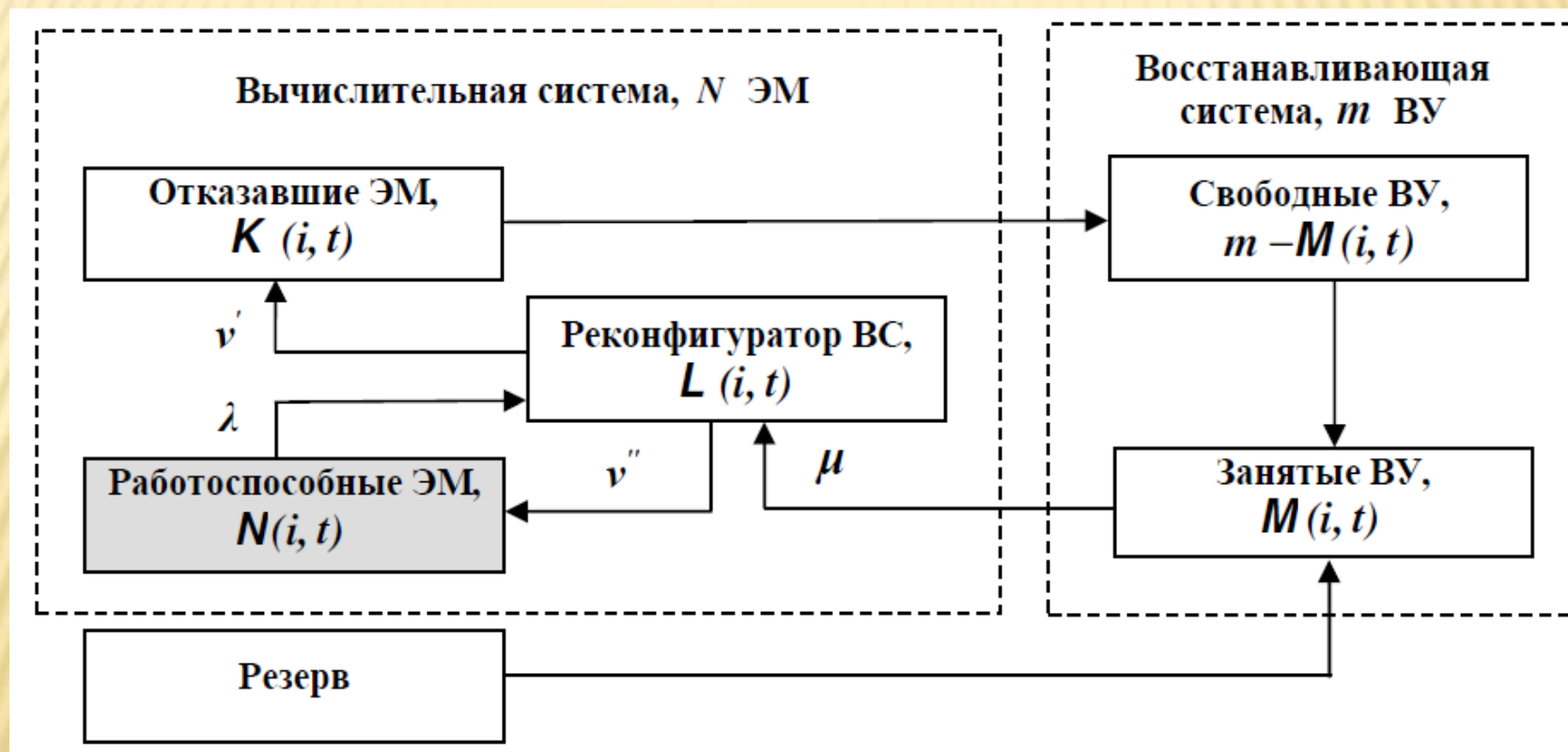


Рисунок 4. Модель функционирования живучей ВС

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

- ✗ Численный анализ показывает, что при структурной избыточности, равной десятичному логарифму общего числа машин в большемасштабной распределенной ВС, достигается уровень надёжности системы, который не ниже уровня надёжности её элементарной машины.
- ✗ Изученные архитектурные концепции организации ВС с избыточностью позволяют создавать надёжные масштабируемые вычислительные суперсистемы с производительностью от GigaFLOPS до PetaFLOPS.

---

**Спасибо за внимание!**