



Кафедра ИУ6

Компьютерные системы и сети

Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана

Конструирование и технология производства вычислительной техники

Весна 2026





Кафедра ИУБ

Компьютерные системы и сети

Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана

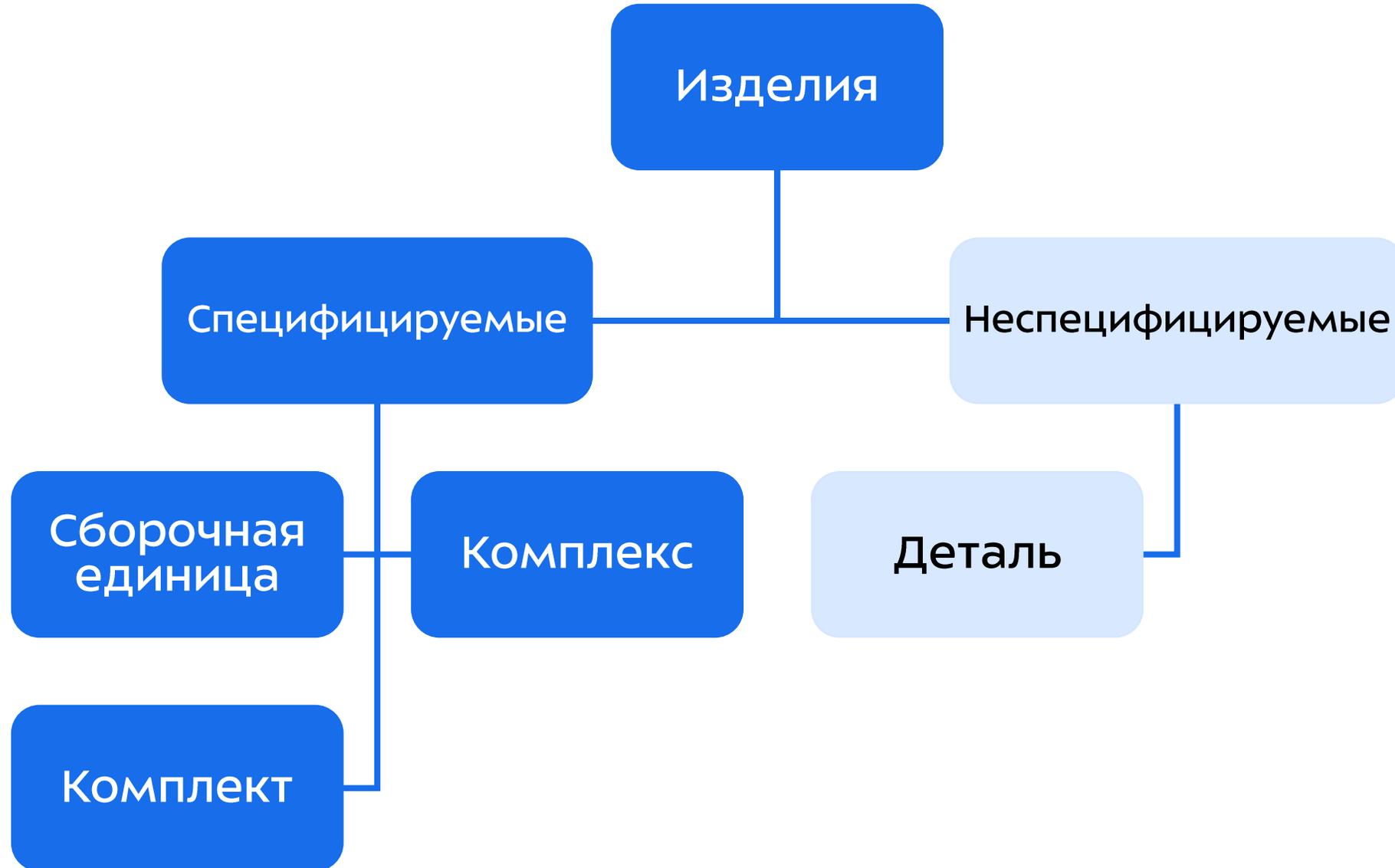
Стандартизация в проектировании, виды и место САПР в конструировании ВТ



ПЛАН ЗАНЯТИЯ

- САПР: определение, структура, функции;
- классификация САПР;
- обзор программных продуктов САПР;
- место САПР в информационной структуре современного производственного предприятия;
- понятие о PDM, PLM, ERP.

ВИДЫ ИЗДЕЛИЙ



СТАДИИ РАЗРАБОТКИ ИЗДЕЛИЯ

Техническое задание

Техническое предложение

– Ведомость технического предложения, ПЗ

Эскизный проект

– Ведомость ЭП, ПЗ

Технический проект

– Чертеж общего вида, ведомость ТП, ПЗ

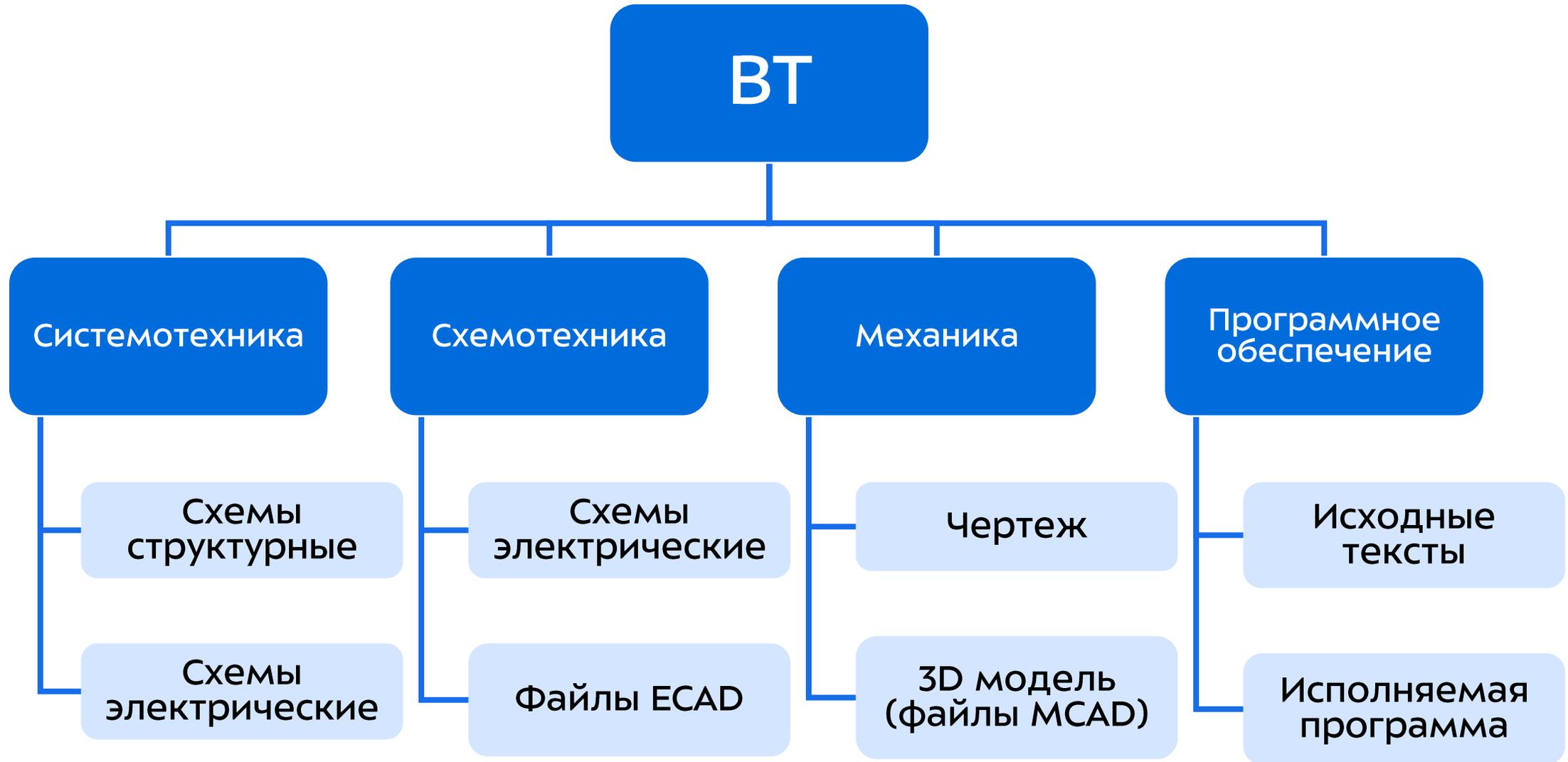
Рабочая документация

– Чертеж детали/Сборочный чертеж (!), спецификация (!)

ЦИКЛ РАЗРАБОТКИ

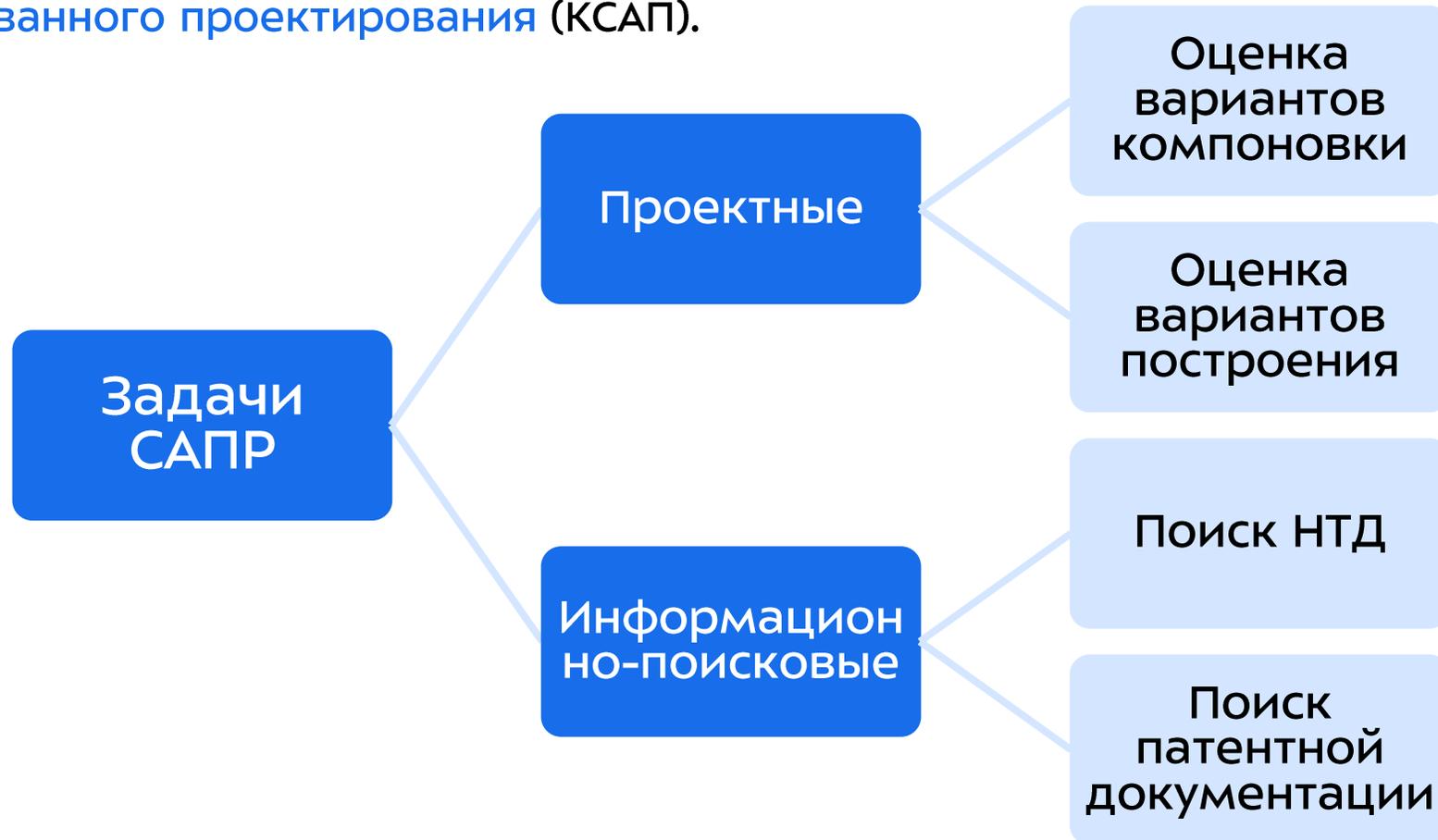


ТИПОВАЯ СТРУКТУРА ВТ

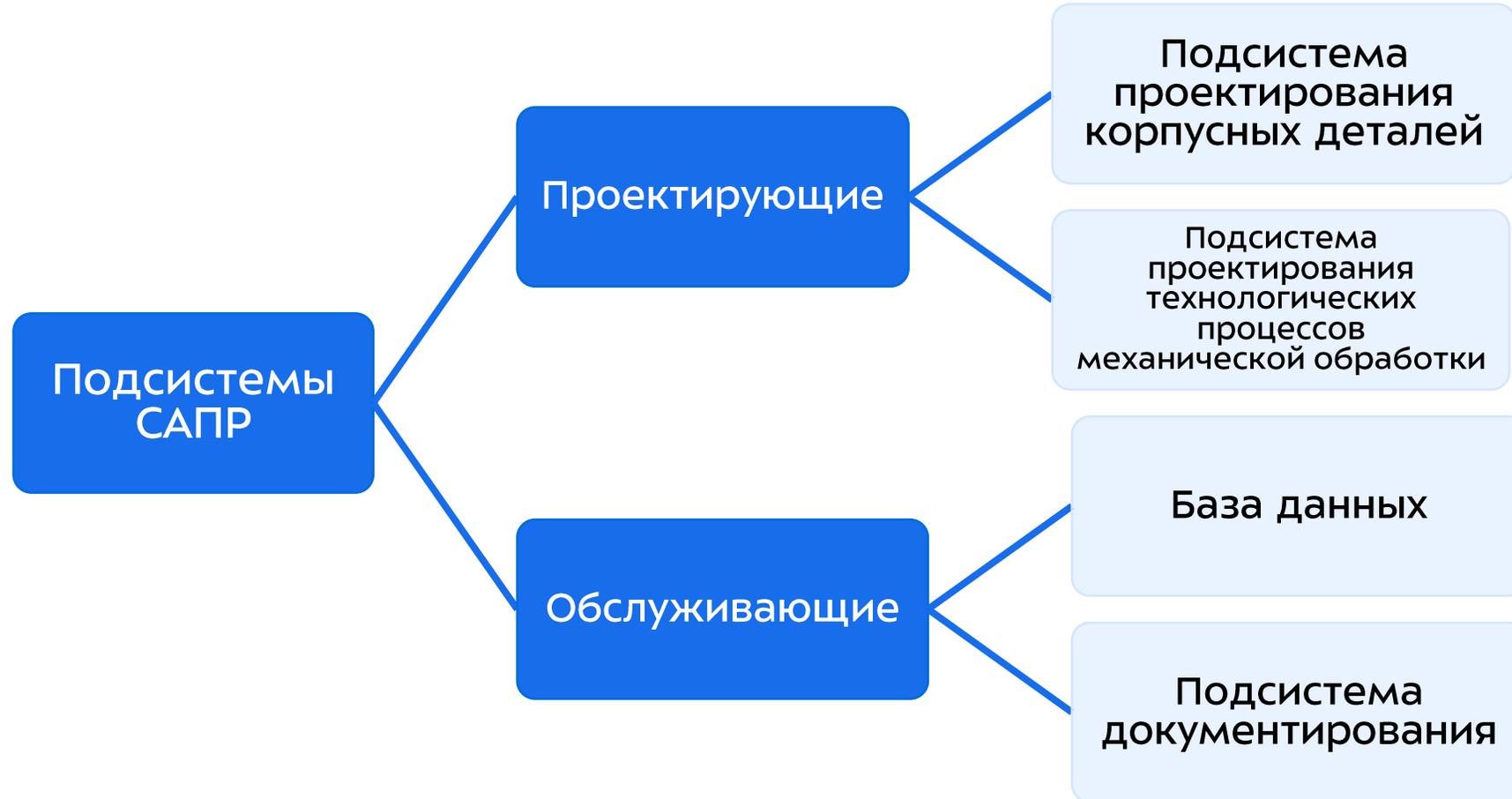


САПР: ОПРЕДЕЛЕНИЕ, ФУНКЦИИ

САПР – это организационно-техническая система, входящая в структуру проектной организации и осуществляющая проектирование при помощи комплекса средств автоматизированного проектирования (КСАП).



СТРУКТУРА ТИПОВОЙ САПР



КЛАССИФИКАЦИЯ САПР

- тип объекта проектирования;
- сложность объекта проектирования;
- комплексность автоматизации проектирования
(одноэтапная, многоэтапная, комплексная);
- количество выпускаемых документов.

КЛАССИФИКАЦИЯ САПР

CAD

- MCAD
- ECAD = CAD (Computer Aided Design)

CAE

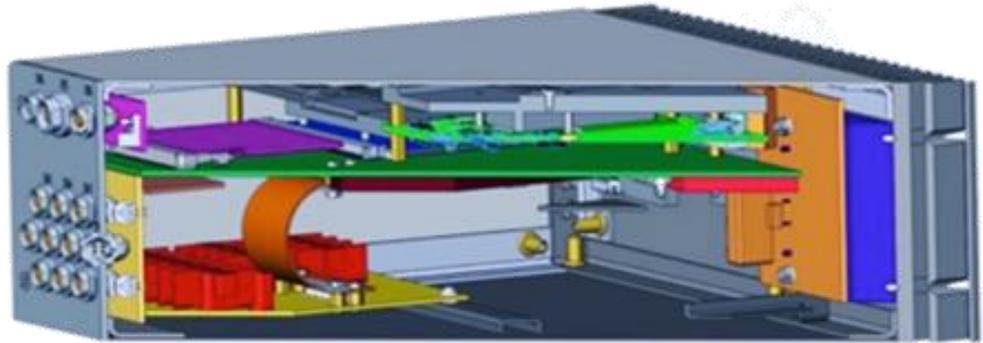
CAE (Computer Aided Engineering)

CAM

CAM (Computer Aided Manufacturing)

КОНСТРУИРОВАНИЕ (МСАД)

- AUTOCAD (www.autodesk.com)
- КОМПАС (www.kompas.ru)
- Inventor (www.autodesk.com)
- Solid Edge (www.plm.automation.siemens.com)
- SolidWorks (www.solidworks.com/ru)
- Creo Parametric (ProEngineer) (www.ptc.com)
- NX (Unigraphics) (www.plm.automation.siemens.com)
- CATIA (www.3ds.com)
- Onshape (www.onshape.com)

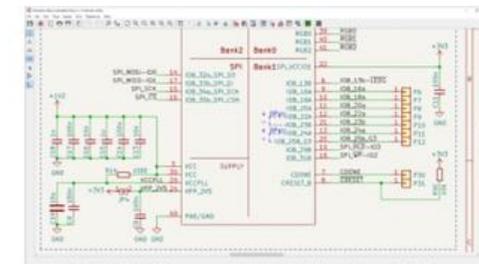
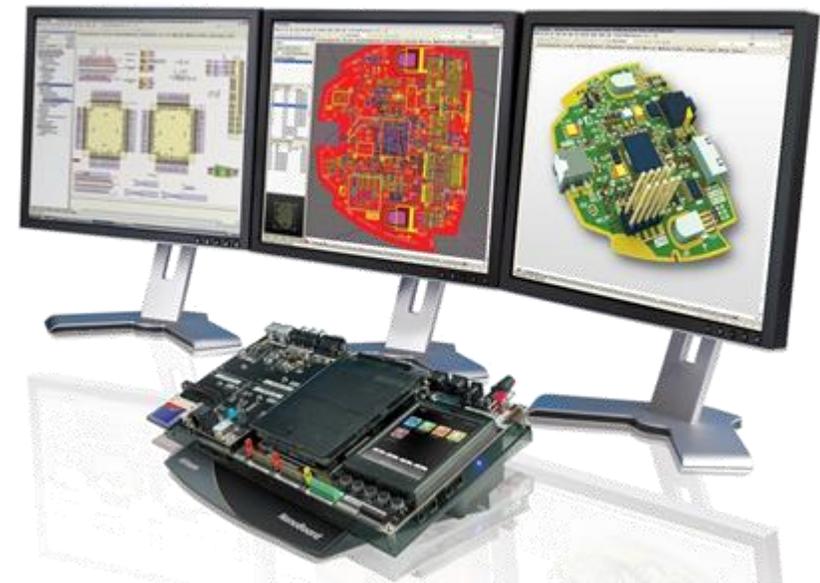


РАЗРАБОТКА СХЕМОТЕХНИКИ (ЕСАD)

- Cadence Design Systems (www.cadence.com)
- Mentor Graphics (www.mentor.com)
- Altium Designer (www.altium.com)
- Synopsys (www.synopsys.com)
- **KiCad: открытый исходный код,**
- EasyEDA: веб-интерфейс
- LibrePCB: открытый исходный код
- LTspice: моделирования цепей

Разработка схемотехники

электронных плат и проектирование специализированных интегральных схем



Источник неизвестен, приводится в образовательных целях

СОСТАВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ (САЕ) И ИХ НАЗНАЧЕНИЕ

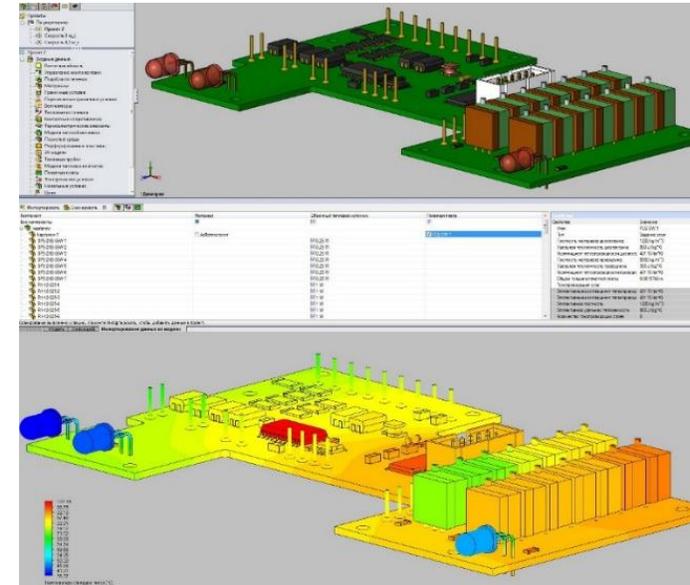
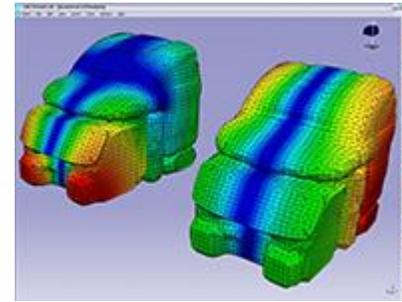
- геометрический моделлер
 - ввод информации о геометрии модели.
 - упрощение модели
- конечно-элементный препроцессор
 - установить свойства материалов
 - задать граничные и начальные условия
 - создать сетку
- конечно-элементный процессор
 - расчет (метод конечных элементов – МКЭ)
- конечно-элементный постпроцессор
 - визуализация и анализ результатов расчета

САЕ

Computer Aided Engineering

CAE

- ANSYS (www.ansys.com)
- NX Nastran, LMS Virtual.Lab (www.plm.automation.siemens.com)
- COMSOL (www.comsol.ru)
- ABAQUS (<http://www.3ds.com>)
- АСОНИКА (<http://asonika-online.ru>)
- SolidWorks Simulation (www.solidworks.ru)
- SimScale (www.simscale.com)
- FEATool Multiphysics (<https://www.featool.com/>)
- CAELinux.com (сборка Linux с инструментами моделирования и инженерных программ для CAD, CAM, 3D принтинга, разработка электроники, т.д.)



CAE OT SOLIDWORKS

— Solidworks Simulation

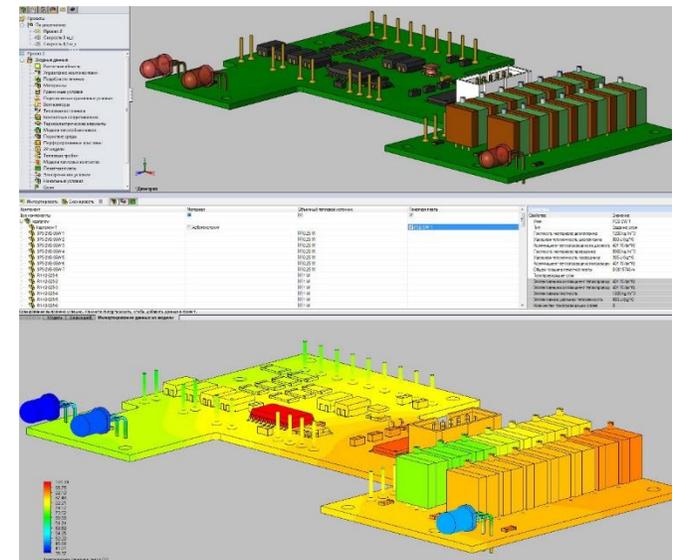
- динамика механизмов, прочность, устойчивость, резонанс, усталость, динамика деформируемых систем, термоупругость

— Solidworks Flow Simulation

- газо/гидродинамика и тепловые расчеты

— ElectroMagneticWorks

- задачи электромагнетизма



Источник неизвестен, приводится в образовательных целях

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ МОДУЛЕЙ EPLAN

EPLAN

Electric P8

Pro panel

Fluid

Preplanning

**Harness
proD**

MCAD PDM

E3.Series

E3.schematic

E3.panel

E3.cable

E3.eCheck

E3.fluid

E3.EDM

SolidWorks

SolidWorks

**SolidWorks
Simulation**

**SolidWorks
Electrical**

**SolidWorks
Plastics**

**SolidWorks
Composer**

**SolidWorks
Enterprise PDM**

PTC Creo

**PTC Creo
Parametric**

**PTC Creo
Simulate**

**PTC Creo
Schematics**

PTC Creo Direct

**PTC Creo
Illustrate**

**PTC Creo
Options Modeler**

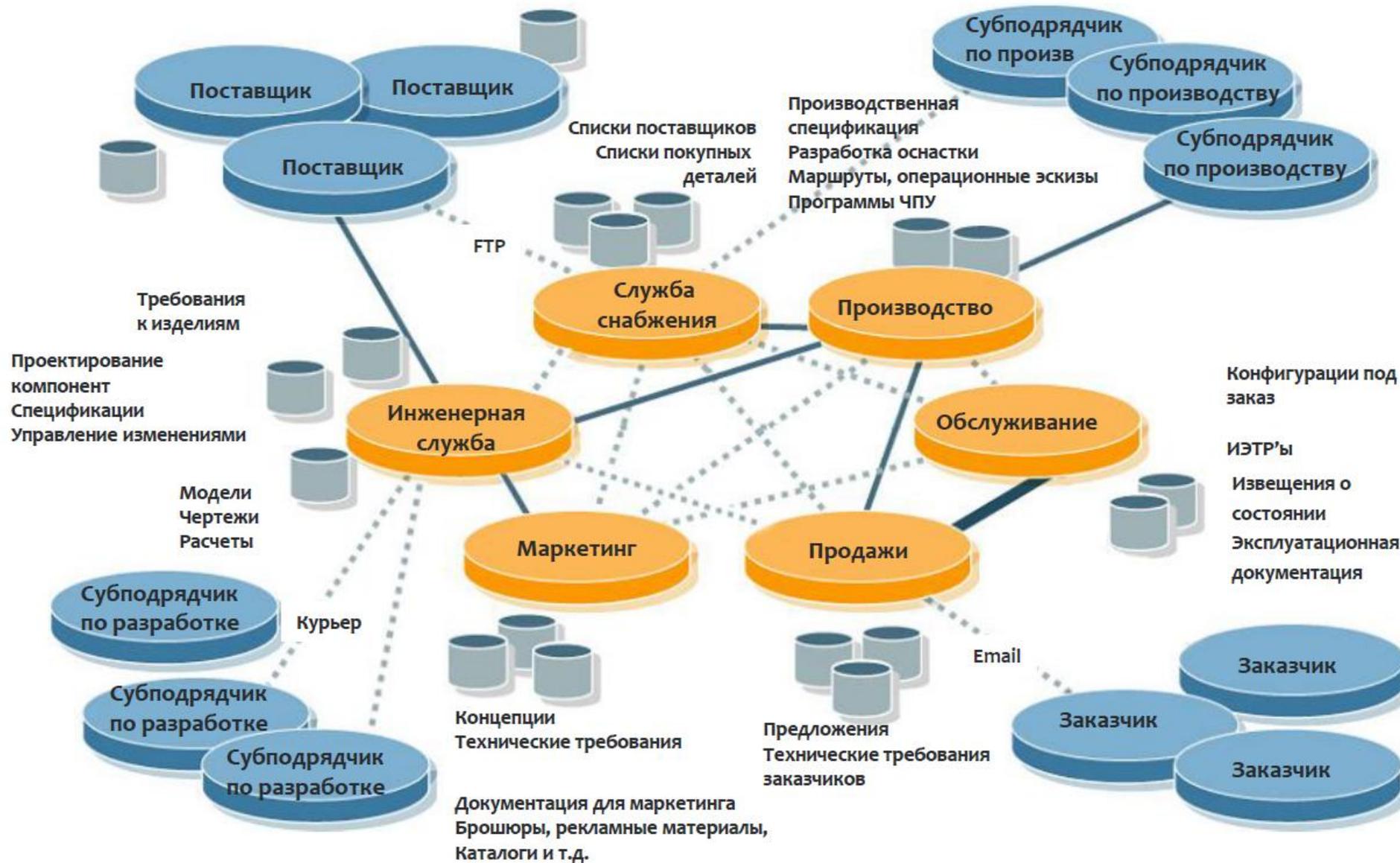
МЕСТО САПР В ИНФОРМАЦИОННОЙ СТРУКТУРЕ ПРЕДПРИЯТИЯ



ОБЗОР PDM-СИСТЕМ

Наименование ПП	Производитель
Windchill	PTC (Parametric Technology Corporation)
Teamcenter	Unigraphics Solution
SolidWorks Enterprise PDM	Dassault Systemes
Enovia	Dassault Systemes
Vault	Autodesk
Productstream	
Лоцман:PLM	АСКОН
1С:Предприятие 8. PDM Управление инженерными данными	1С + Аппиус

ТРАДИЦИОННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ПРЕДПРИЯТИЯ

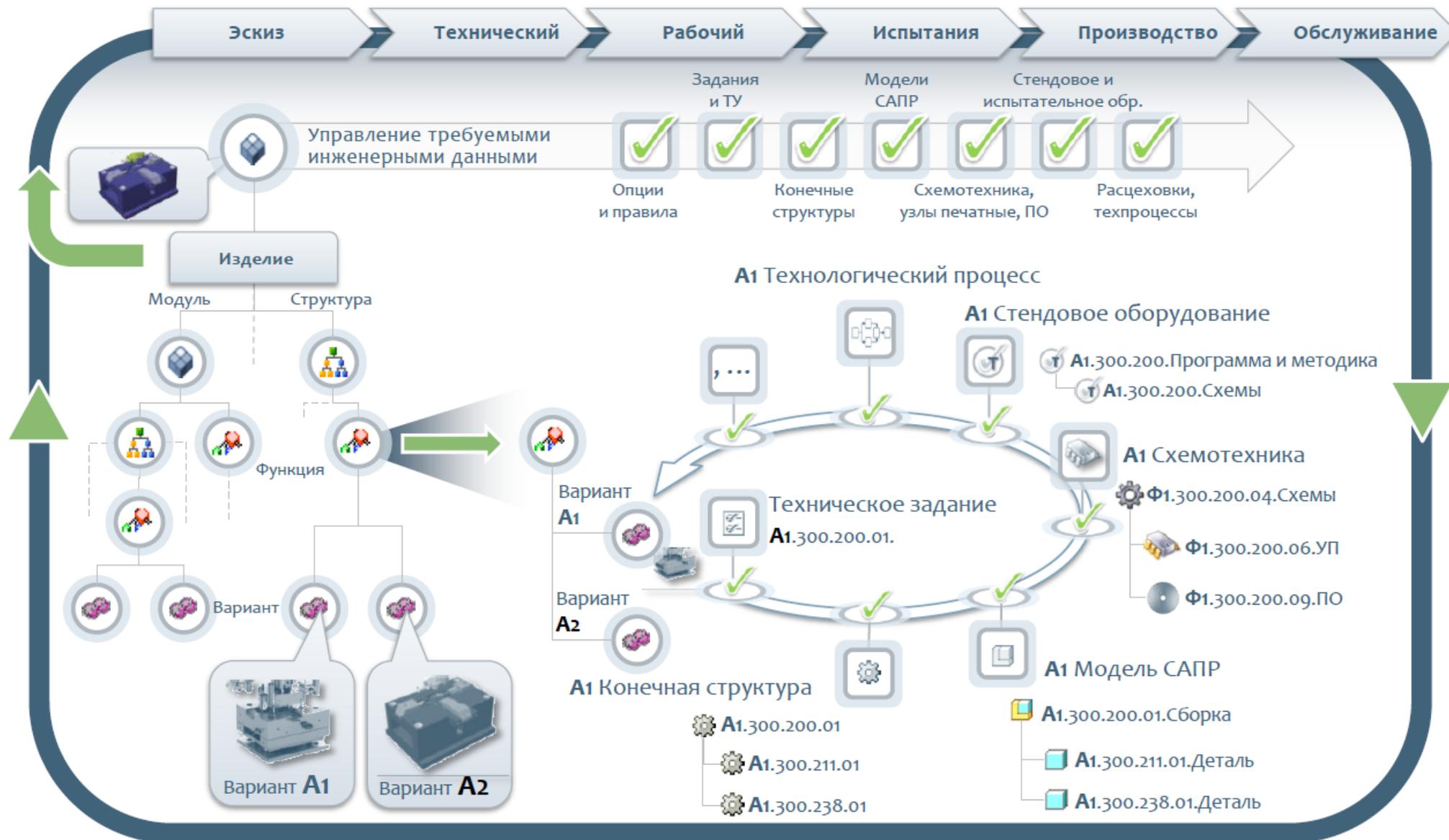


ИНТЕГРАЛЬНАЯ СИСТЕМА РАЗРАБОТКИ И ПРОИЗВОДСТВА

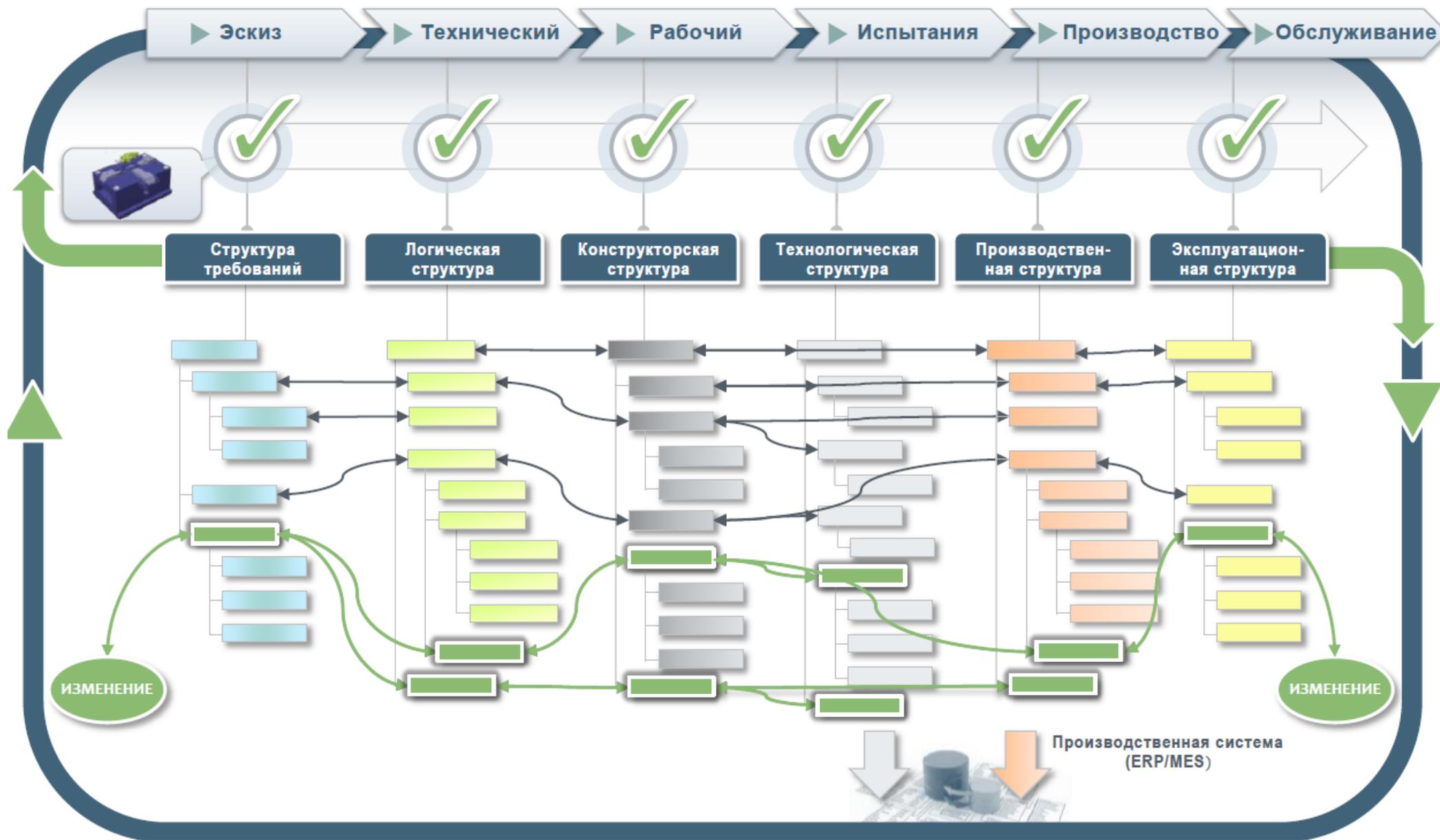


УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРОЙ ИЗДЕЛИЯ

ЭСИ включает в себя **всю информацию**, описывающее изделие



КОНТРОЛЬ ИЗМЕНЕНИЙ



МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ (MBD)

Задача MBD - обеспечение всем участникам процесса доступа к **полному цифровому определению изделия** в нужное время, в точно необходимом объеме, в том числе - полностью определенных 3D-моделей.

Ориентация на чертежи	Ориентация на модели	Модельно-ориентированное проектирование	Модельно-ориентированное предприятие
УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ 0	УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ 1	УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ 2	УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ 3
Главным документом является 2D-чертеж	Главным документом является 2D-чертеж	Главным документом является 3D-модель	Главным документом является полностью загруженная 3D-модель
<ul style="list-style-type: none"> 3D-модель не проверяется. Конфигурации 3D-модели не контролируются. Главными документами являются 2D-чертежи. Основными сдаваемыми документами для внутренних и внешних клиентов являются 2D-чертежи. 	<ul style="list-style-type: none"> 3D-модель проверяется. Конфигурации 3D-модели могут контролироваться. 2D-чертежи сохраняют приоритет. 	<ul style="list-style-type: none"> Конструкторский замысел документируется в аннотированной 3D-модели. 3D-модель проверяется, и ее конфигурации контролируются. Пакет технических данных (TDP), генерируемый из этих 3D-моделей, используется ограниченным кругом участников на последующих этапах. 	<ul style="list-style-type: none"> Полностью загруженные 3D-модели со связанными артефактами полностью определяют изделие. Управление конфигурациями, автоматическое создание полных пакетов TDP, внедренные процедуры архивирования. Полные пакеты TDP напрямую используются всеми пользователями на последующих этапах.

Источник неизвестен, приводится в образовательных целях

ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ ERP СИСТЕМ

- ведение **спецификаций**, управление материальными ресурсами и операциями для изготовления;
- формирование планов **продаж** и **производства**;
- планирование потребностей в материалах и комплектующих, сроков и объемов поставок для выполнения плана производства продукции;
- управление запасами и закупками
- планирование производственных мощностей от укрупненного планирования до использования отдельных станков и оборудования;
- оперативное управление **финансами**
- управление **проектами, ресурсами**

Наименование ПП	Производитель
1С Предприятие	1С
ПАРУС-Предприятие 8	Корпорация «ПАРУС»
Галактика ERP	Корпорация «Галактика»
SAP ERP	SAP
Oracle ERP	Oracle
Microsoft Dynamics	Microsoft

ПЕРЕЧЕНЬ СТАНДАРТОВ, НА КОТОРЫЕ ПРИВЕДЕНЫ ССЫЛКИ В
ЛЕКЦИИ

- ГОСТ 23501.101-87 САПР. Основные положения
- ГОСТ 23501.108-85 САПР. Классификация и обозначение

ЛИТЕРАТУРА

- Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования : учеб. для вузов / И.П. Норенков. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 430 [2] с.: ил. – («Информатика в техническом университете»)
- http://www.calscenter.ru/?page_id=215 (PDM-системы)
- <http://www.intuit.ru/studies/courses/13833/1230/lecture/24073> (ERP-системы)
- http://www.techgidravlika.ru/view_post.php?id=45

Интерактив





Кафедра ИУБ

Компьютерные системы и сети

Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана

Конструктивные модули. Формфакторы и компоновочные решения



ПЛАН ЗАНЯТИЯ

- назначение конструктивных модулей (КМ)
- составные части и уровни КМ
 1. многокристальные модули
 2. субблоки
 3. блоки и панели
 4. рамы и стойки
- геометрическая компоновка конструктивного модуля (КМ)
 1. выбор формы КМ и типовые схемы геометрической компоновки
 2. определение геометрических размеров и выбор компоновочных схем
 1. содержательная постановка задачи выбора пространственной геометрии КМ
 2. пространственная геометрия многорамной стойки (пример, со схемой решения) – для самостоятельной проработки

НАЗНАЧЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ МОДУЛЕЙ

- обеспечение физических процессов **функционирования** и **защита** от дестабилизирующих факторов.
- в конструктивных модулях (КМ) осуществляется:
 - электрическая **коммутация**;
 - механическое **крепление** входящих в них КМ нижнего уровня.

СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ ТИПОВОЙ КОНСТРУКЦИИ

несущие детали;

- которые служат для размещения, фиксации и защиты от внешних и внутренних воздействий деталей, входящих в данную сборочную единицу;

элементы ориентации, стыковки;

- расстыковки типовой конструкции с КМ следующего уровня;

детали крепления и фиксации;

- конструктивных элементов, входящих в данную типовую конструкцию;

элементы защиты;

- от внутренних и внешних воздействий в том числе обеспечения нормального теплового режима;

элементы электрической коммутации;

- внешней и внутренней

лицевая панель;

элементы индикации и контроля.

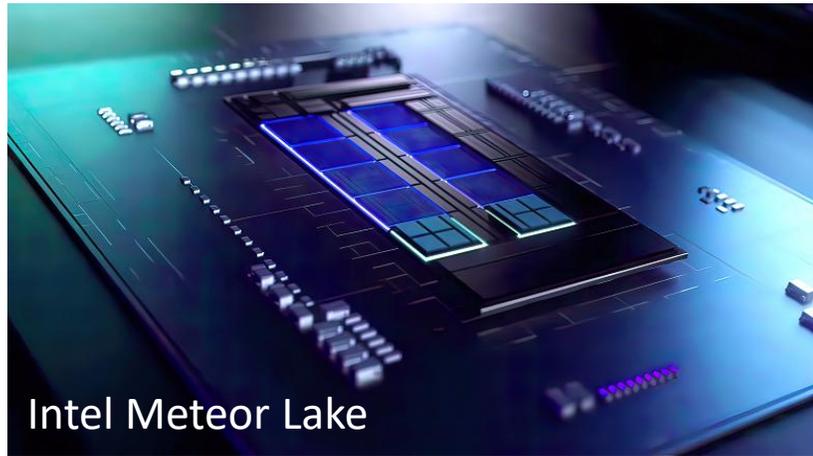
В зависимости от уровня конкретного КМ, назначения и вида узла, некоторые из составных частей могут отсутствовать.

УРОВНИ КОНСТРУКТИВНЫХ МОДУЛЕЙ

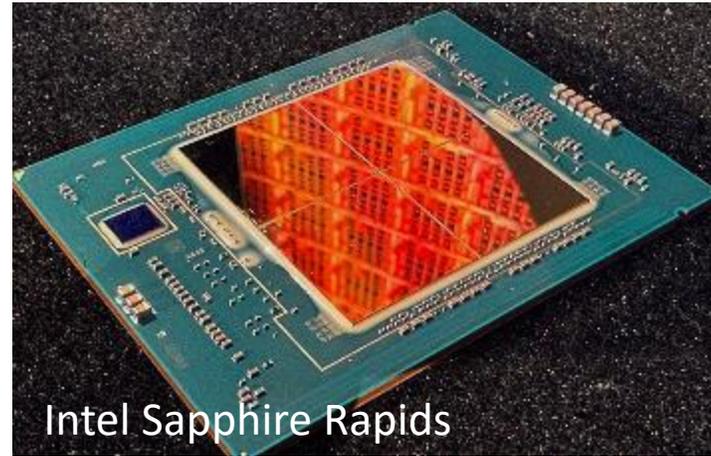
- **многокристальные модули**
- **субблоки**
- **блоки и панели**
- **рамы и стойки**

1 МНОГОКРИСТАЛЬНЫЕ МОДУЛИ (МНОГОКРИСТАЛЬНЫЕ МИКРОСБОРКИ)

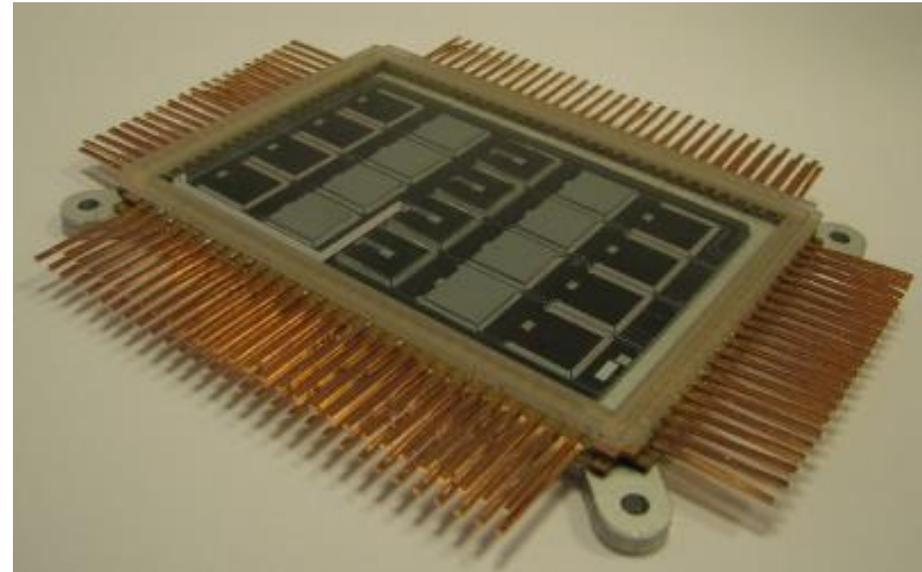
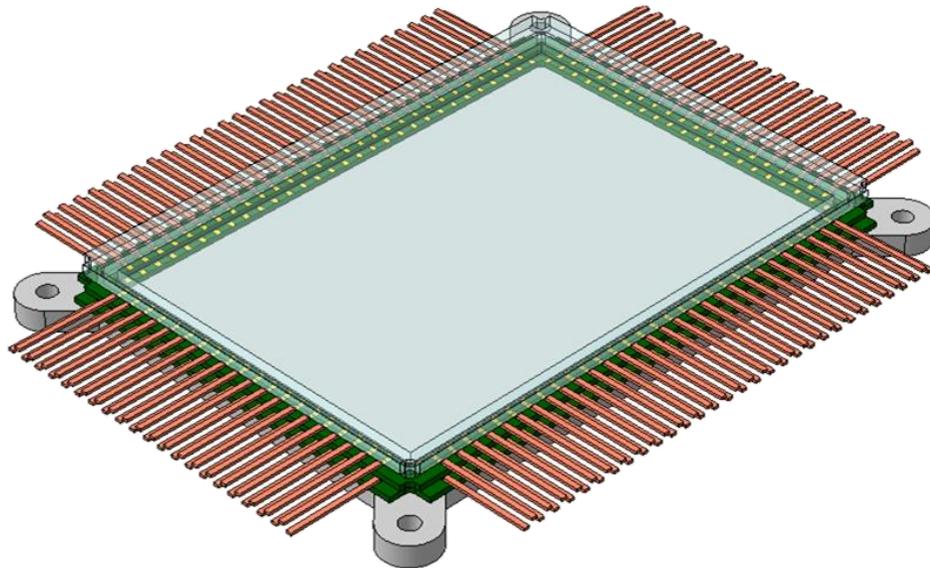
конструктивные модули и формфакторы



Intel Meteor Lake

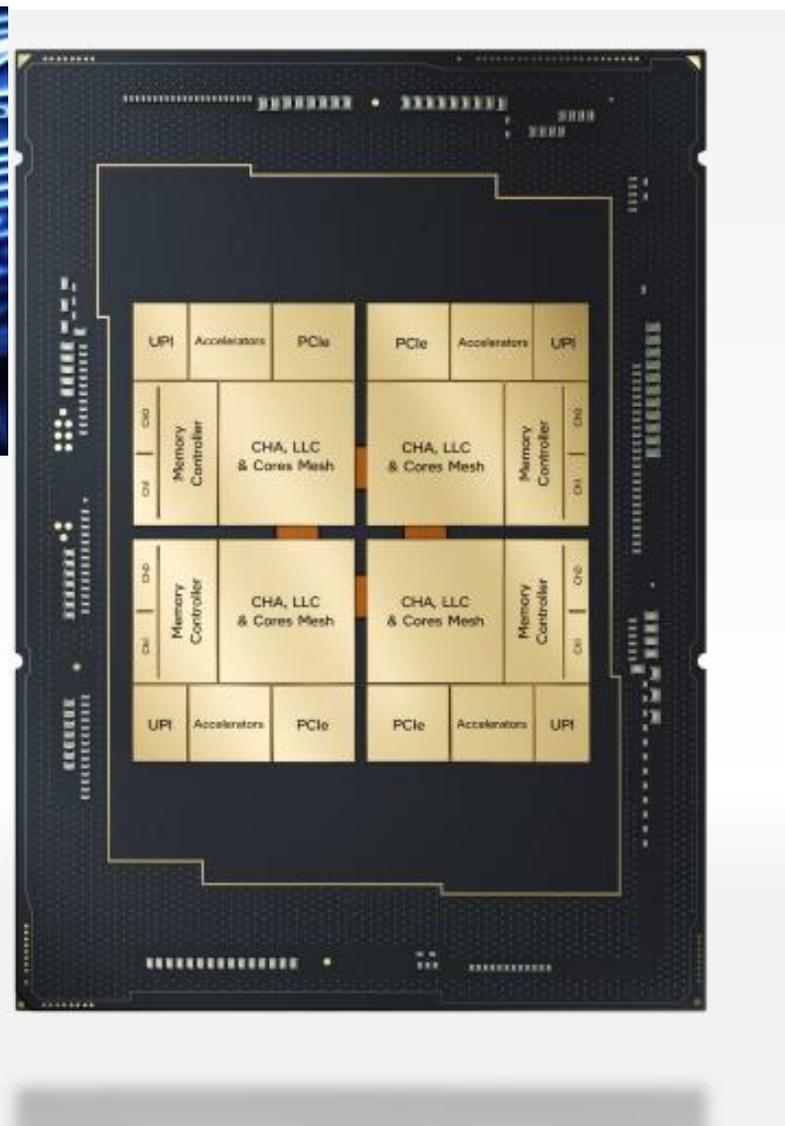


Intel Sapphire Rapids

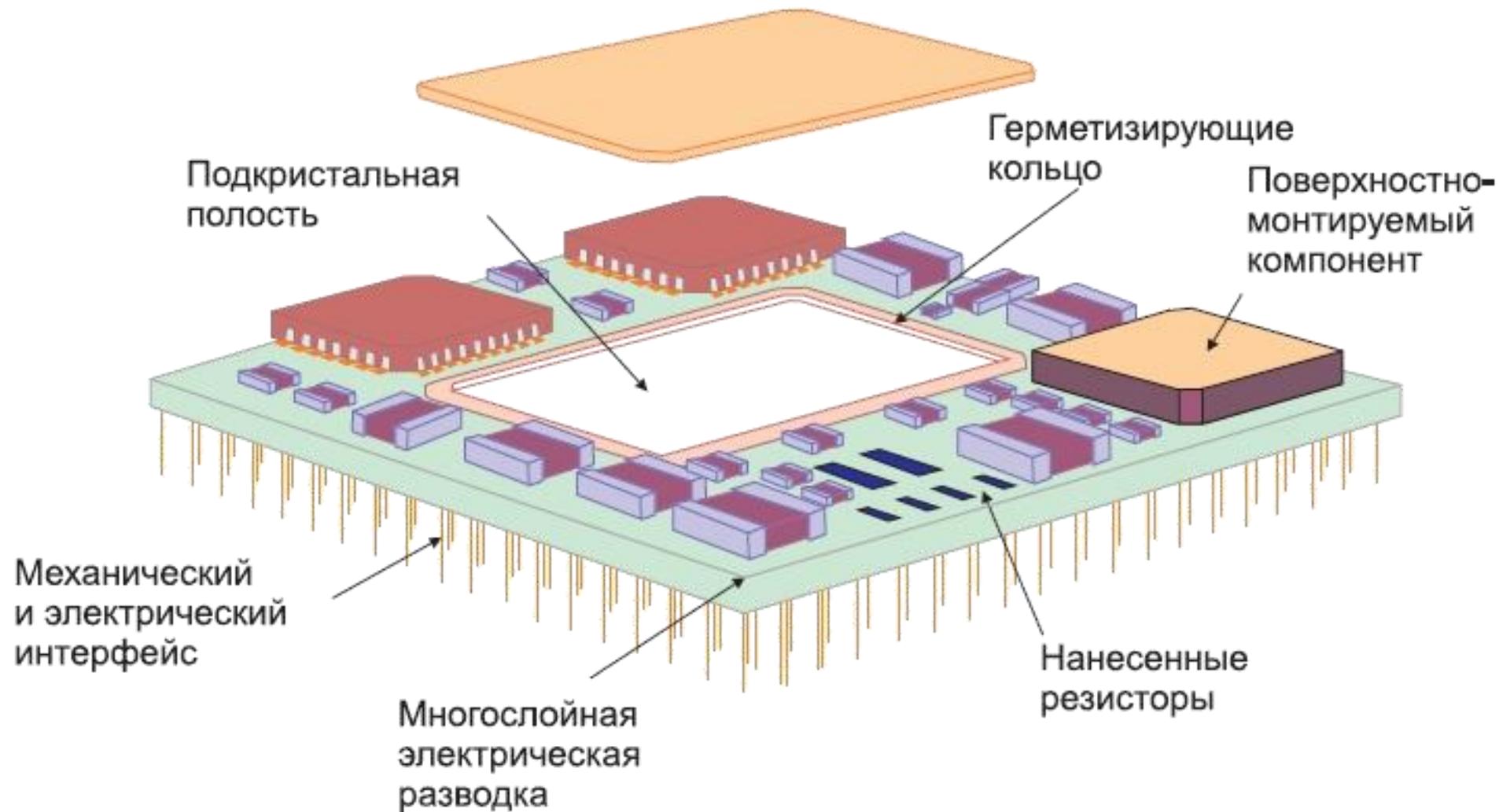




Sapphire Rapids SoC

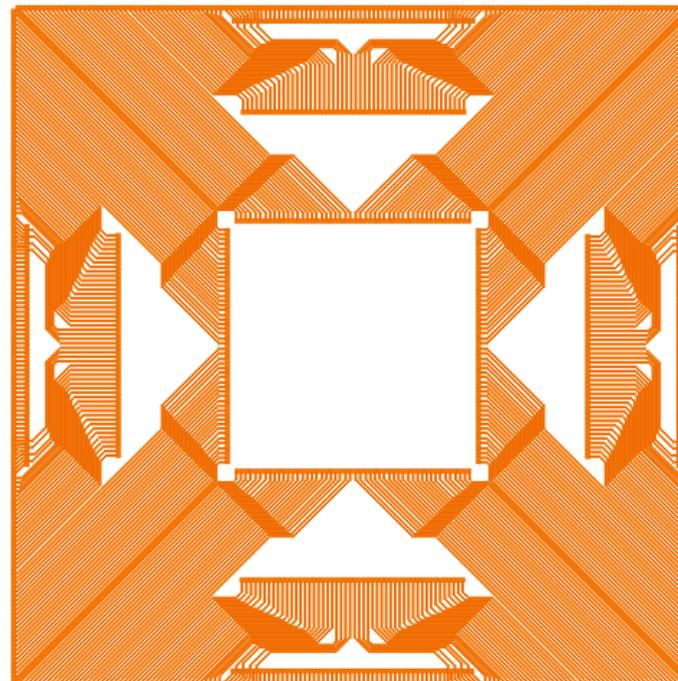


1 ПРИМЕР МНОГОКРИСТАЛЬНОГО МОДУЛЯ НА КЕРАМИЧЕСКОМ ОСНОВАНИИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЙ ВЫСОКОЙ НАДЕЖНОСТИ

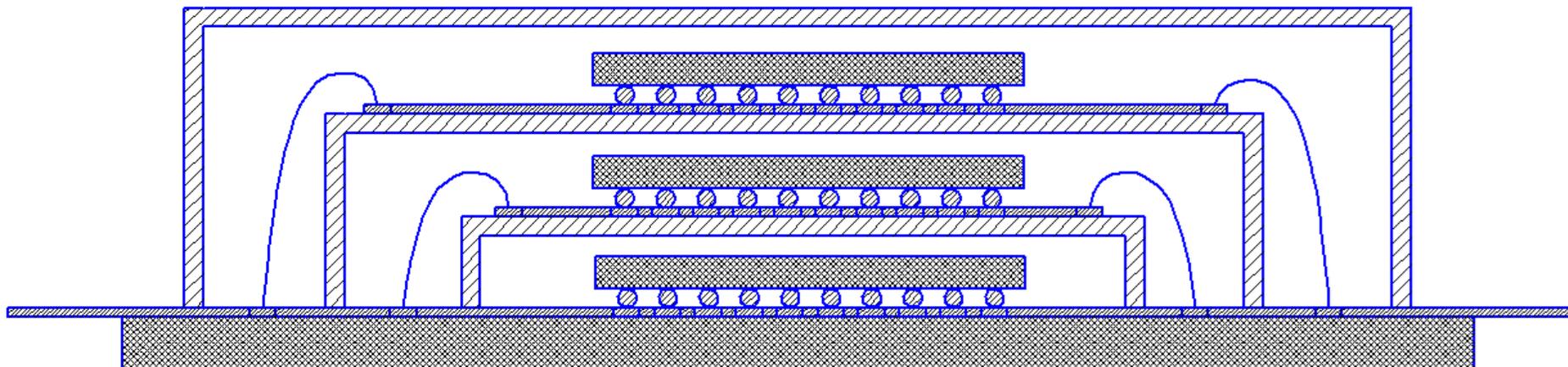


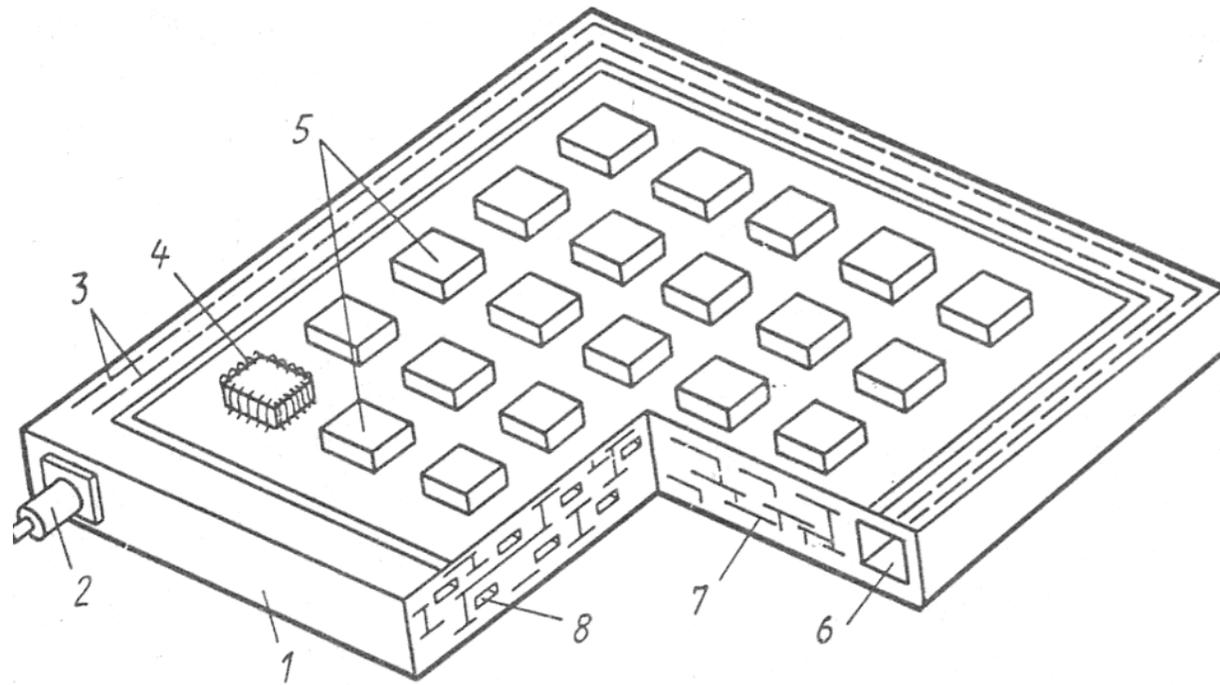
1 СТЕКОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ МКМ

Топология платы МКМ



Структура стекового МКМ



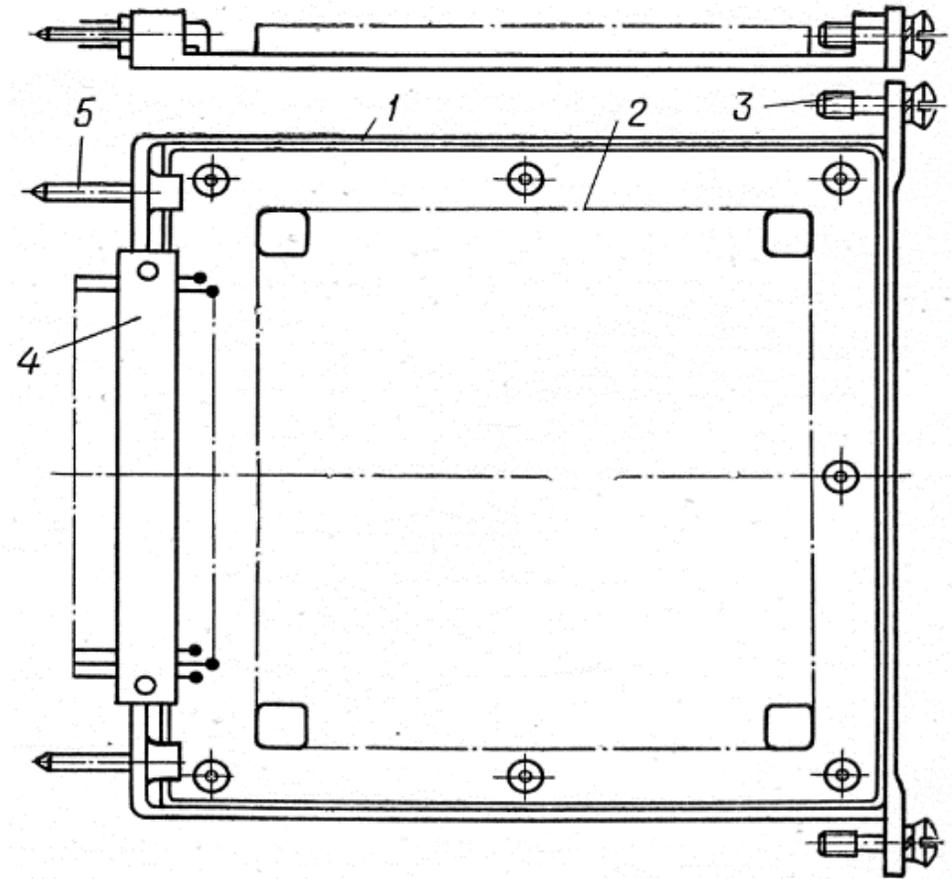


1 – многослойная подложка из окиси алюминия;
 2 – жидкостный соединитель;
 3 – контактные площадки;
 4 – проволочные соединения;
 5 – кристаллы;

6 – распределительный канал для охлаждающей жидкости;
 7 – межсоединения;
 8 – микроканалы для охлаждающей жидкости

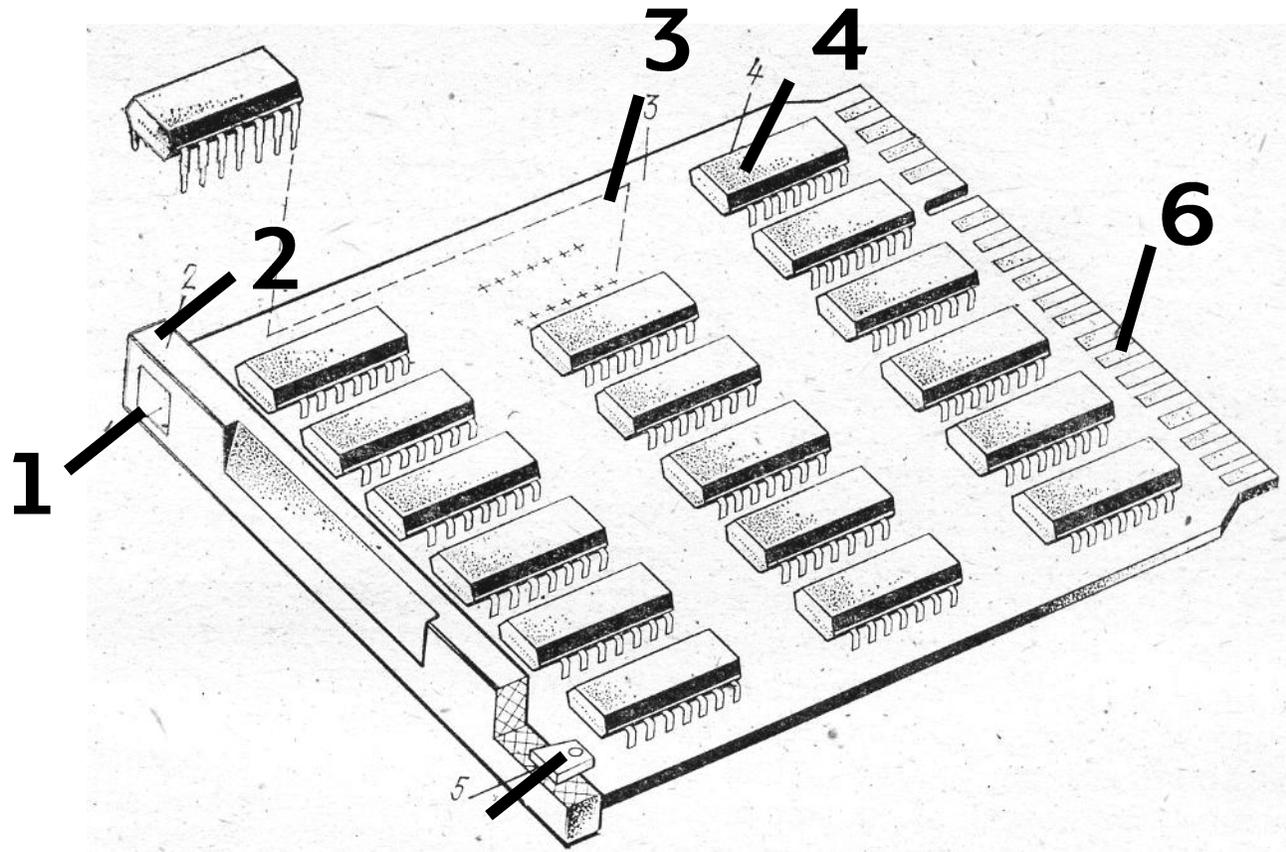
2 СУББЛОКИ

Субблоки конструктивно объединяют на одной или нескольких монтажных платах исходные **схемотехнические компоненты** – микросхемы разной степени интеграции и электрорадиоэлементы.



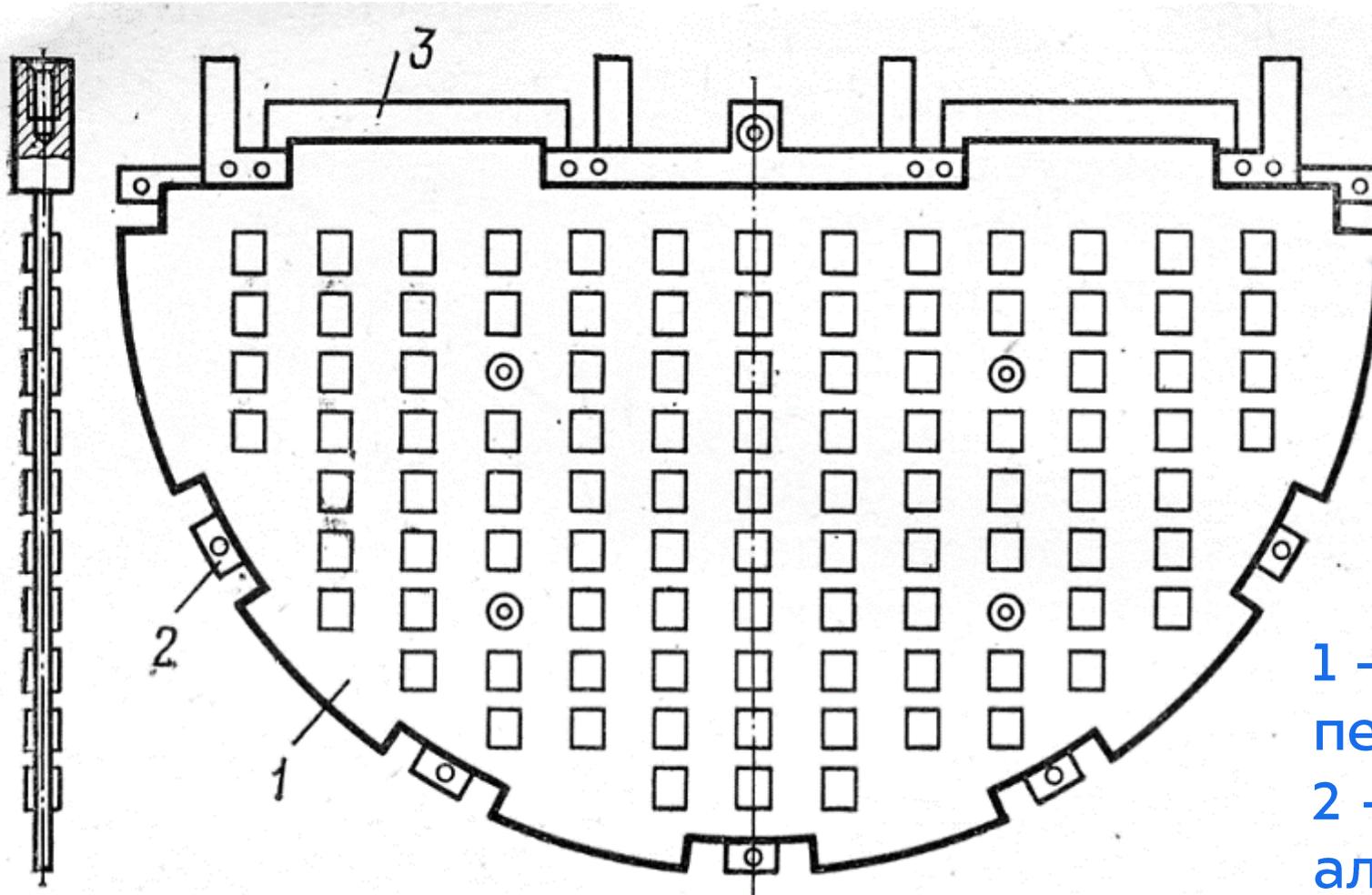
- 1 – металлический каркас;
- 2 – печатная плата;
- 3 – винты;
- 4 – разъем;
- 5 – штыри-ловители

2 СУББЛОКИ



- 1 – шильдик адреса;
- 2 – лицевая панель;
- 3 – печатная плата;
- 4 – микросхема;
- 5 – кронштейн;
- 6 – концевой соединитель

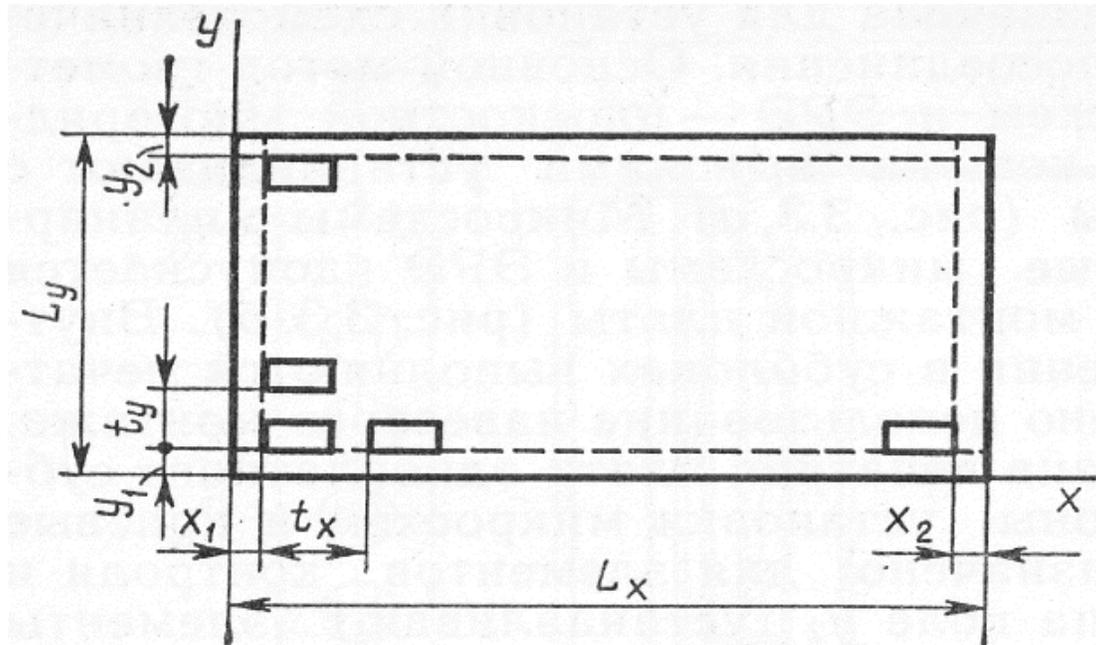
2 СУББЛОК БЛОКА СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ



Область установки микросхем ограничена краевыми полями:

- y_1 – предназначено для элементов контроля и крепления лицевой панели;
- y_2 – предназначено для монтажа элементов внешней электрической коммутации;
- x_1, x_2 – являются конструктивно-технологическими.

Компоновочная схема



Рекомендуемые значения краевых полей:

$$y_1 \geq 10 \text{ мм};$$

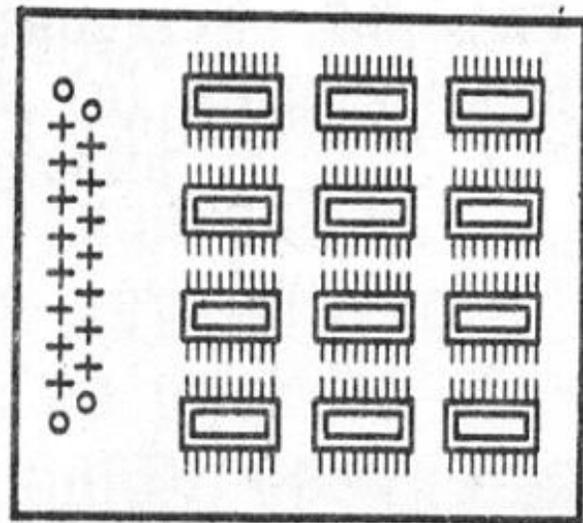
$$y_2 \geq 12,5 \text{ мм};$$

$$x_1 = x_2 \geq 2,5 \text{ мм}$$

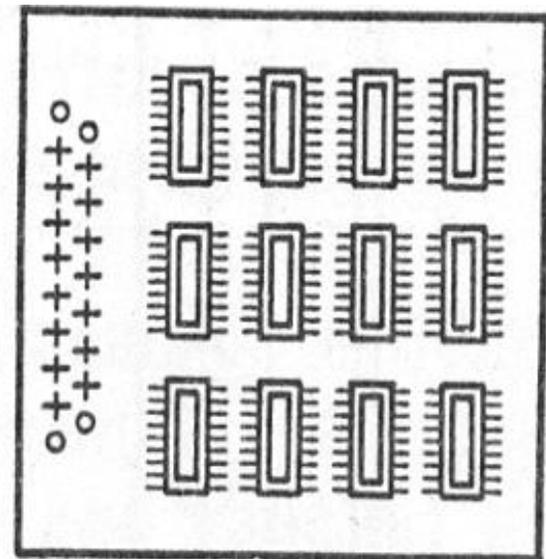
При соблюдении теплового режима микросхемы рекомендуется ориентировать относительно **краевого поля** внешней электрической коммутации короткой стороной (а).

Для учета направления воздушного потока допускается их поворот на 90° (б).

а)



б)



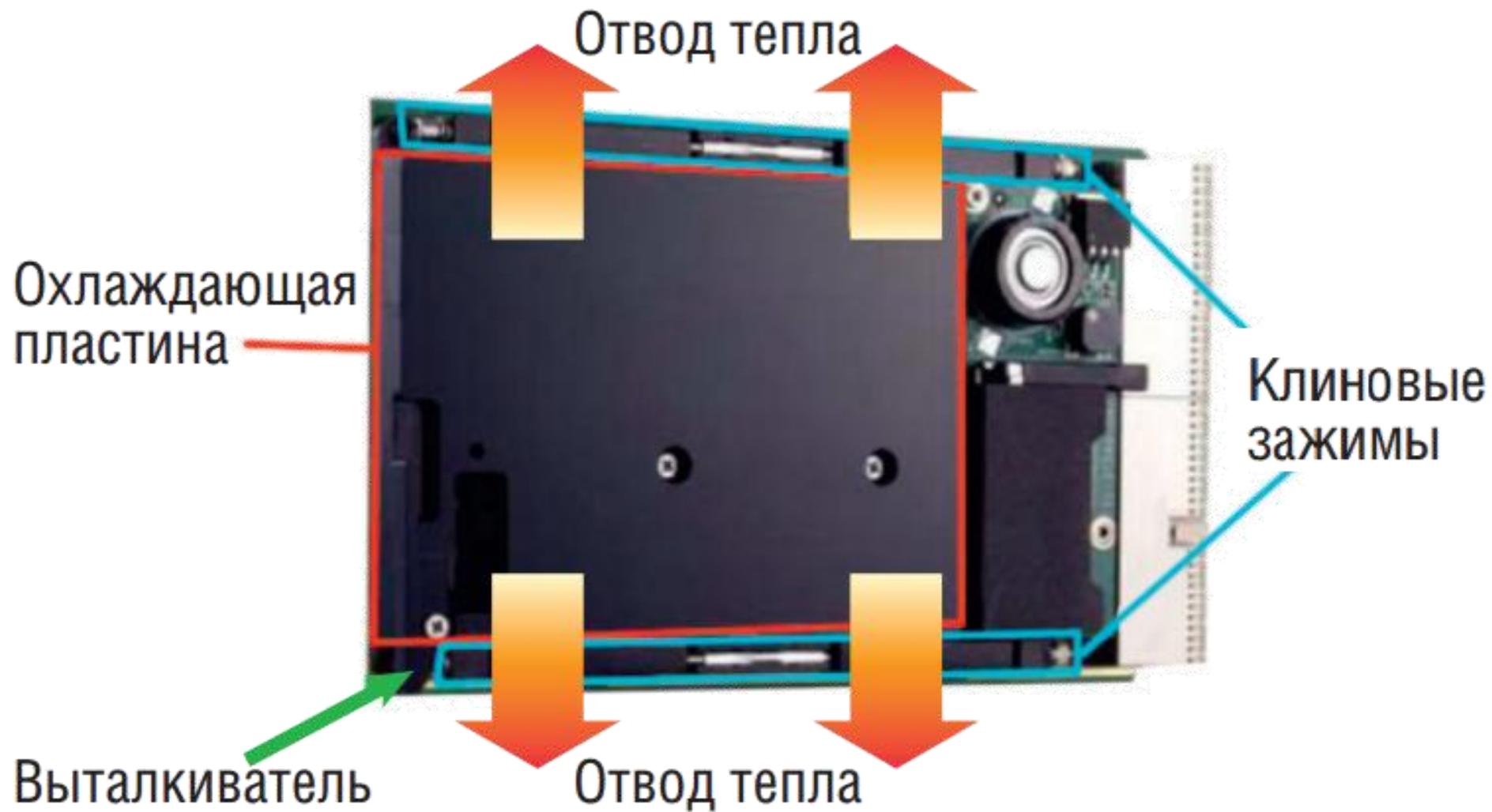
При **высоких требованиях к постоянству температурного градиента** и большой удельной мощности, выделяемой микросхемами, в качестве прокладки **можно применять металлическую пластину (heat spreader)**



2 ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ СУББЛОК С КОНДУКТИВНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ



2 СУББЛОКИ С КОНДУКТИВНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

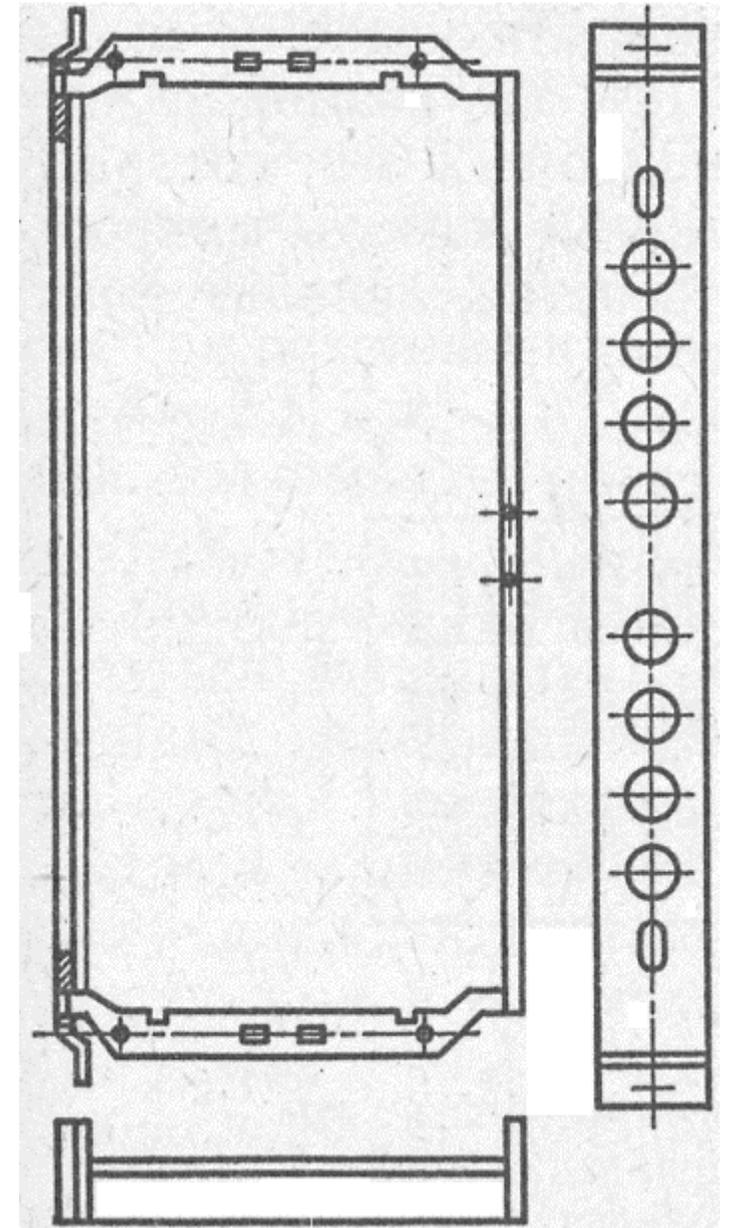


2 КАРКАС

Каркасные конструкции субблоков применяют в ЭВМ, работающих в условиях **интенсивных механических воздействий**, или в многоплатных субблоках.

Количество плат в субблоках зависит от объема реализуемой схемы, плотности ее компоновки и допустимых размеров печатных плат. Для упрощения конструкции субблоки рекомендуется делать **одноплатными**.

Каркасы используют штампованные из стали или литые из алюминиевых сплавов.



2 КАРКАСЫ СУББЛОКОВ



2 МОНТАЖНАЯ ПЛАТА

Предназначена для установки схемотехнических компонентов и их электросоединения.

Основной метод геометрической компоновки микросхем – **плоскостной многорядный**.

Микросхемы со штырьковыми выводами устанавливаются с **одной** стороны печатной платы, с планарными выводами и бескорпусные – допускается устанавливать с двух сторон монтажной платы.



2 ПЛАТА С УСТАНОВЛЕННОЙ ПЕРЕДНЕЙ ПАНЕЛЬЮ

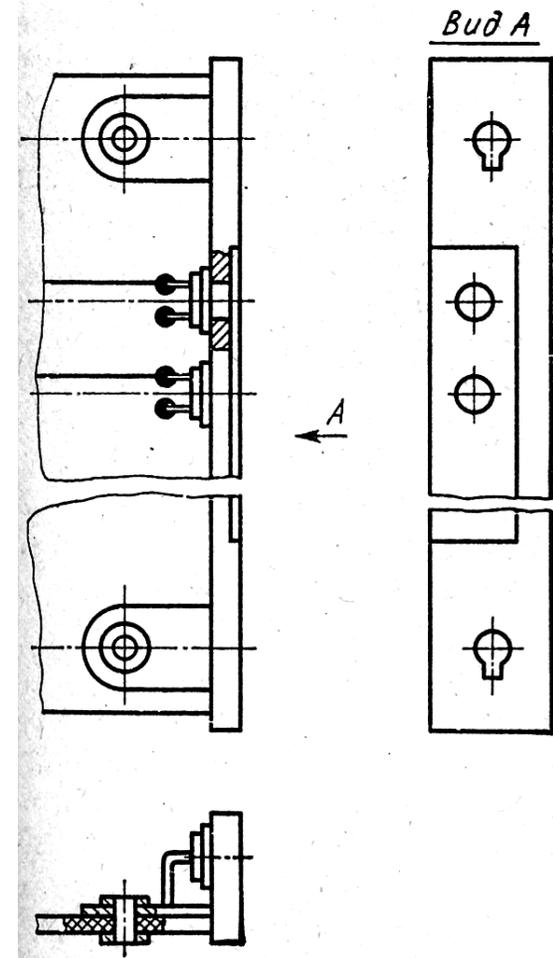
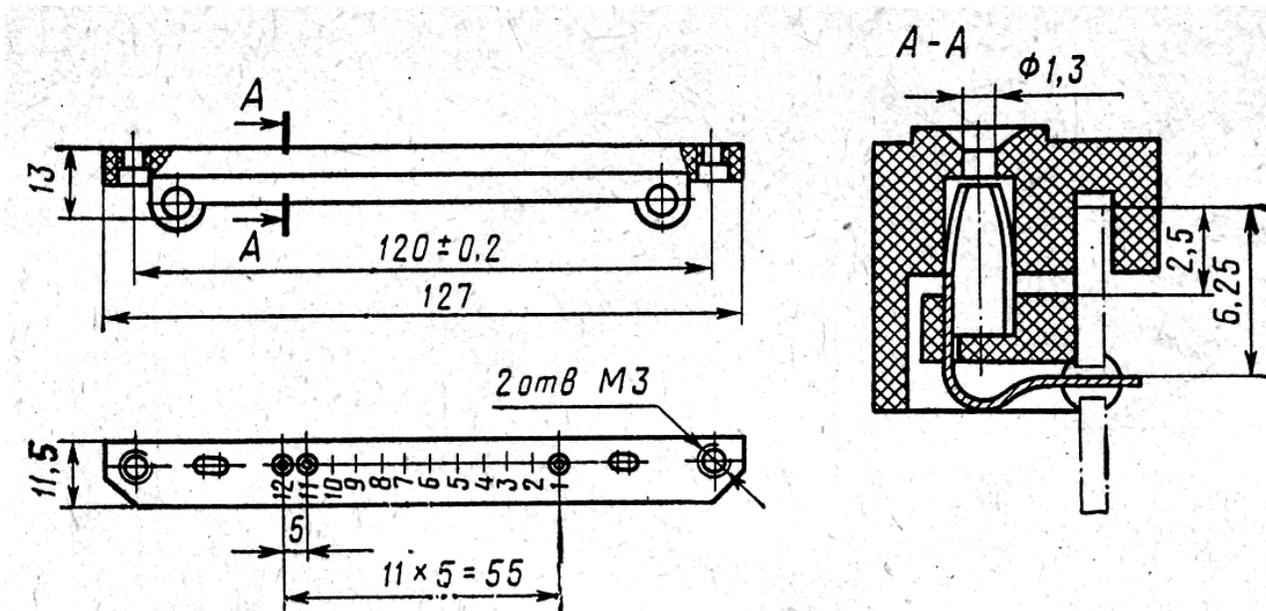


2 ЛИЦЕВАЯ ПАНЕЛЬ

Предназначена для предотвращения **утечки охлаждающего воздуха** в случае принудительной вентиляции и установки элементов **контроля** и **индикации**.

Изготавливается из листовой стали, алюминиевых сплавов или пластмасс.

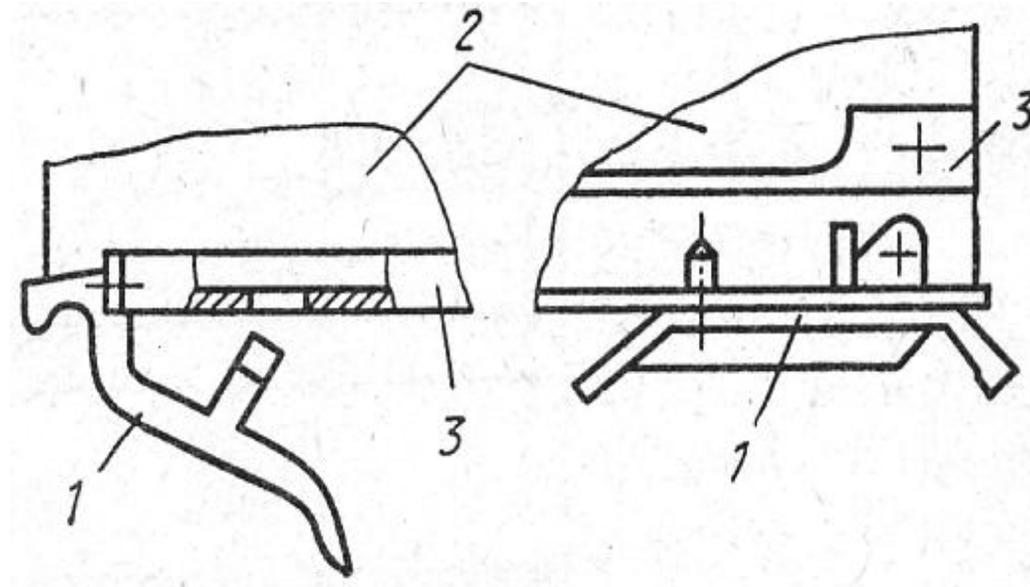
Может иметь **отверстия** для захватов съемников.



2 ЭЛЕМЕНТЫ СТЫКОВКИ И РАССТЫКОВКИ

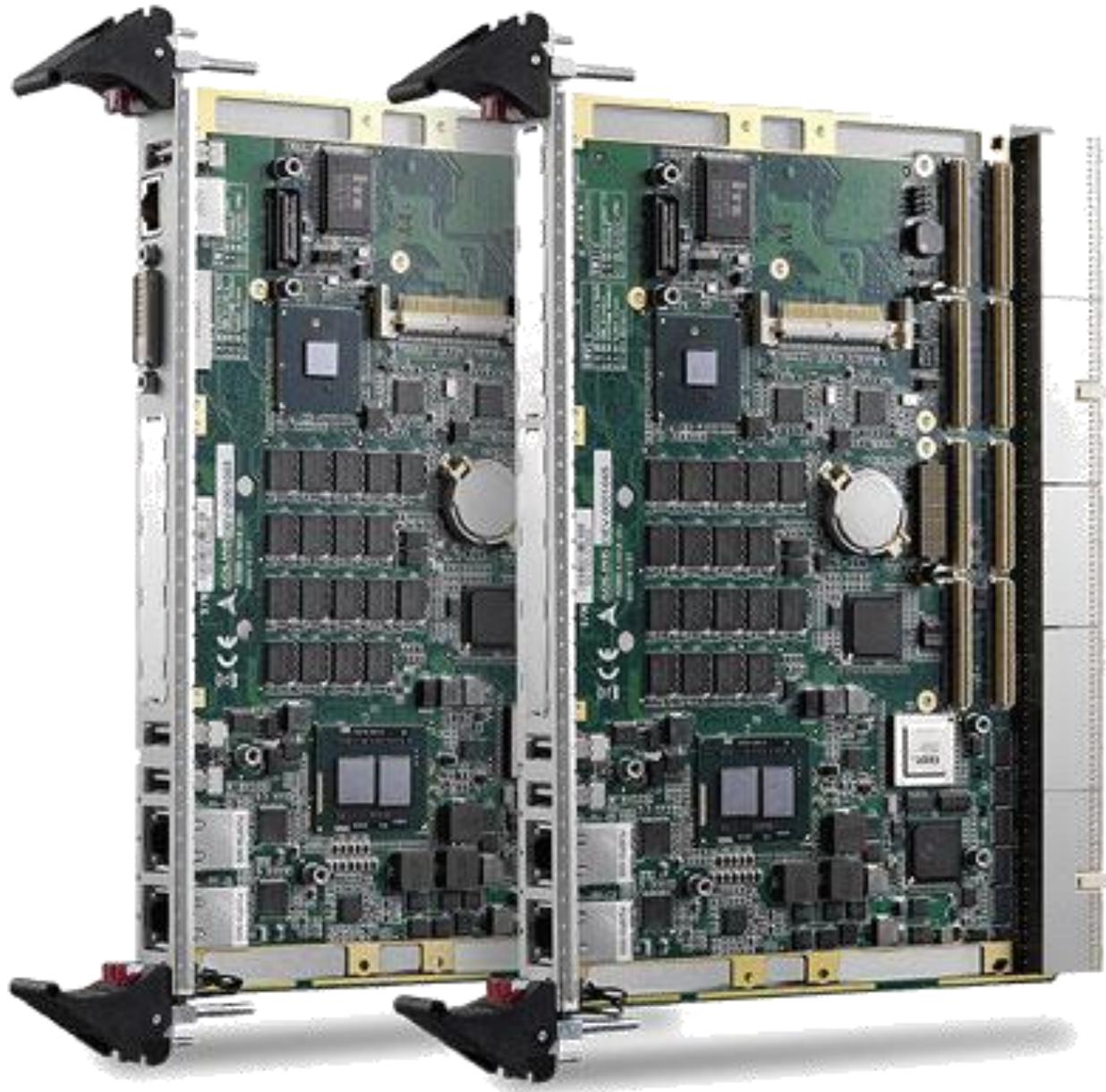


Если усилие расчленения велико, на лицевой панели монтируют специальное устройство для облегчения установки и съема типового элемента замены.



- 1 – рычаг;
- 2 – печатная плата;
- 3 – лицевая панель

2 СМОНТИРОВАННЫЙ СУББЛОК



конструктивные модули и формфакторы

3 БЛОКИ И ПАНЕЛИ

Блоки и панели предназначены для размещения модулей предыдущего уровня и представляют собой пространственную сборную или сварную конструкцию, на которой устанавливают:

- **ответные части разъёмов** и узлы подвода питания и «земли»,
- **направляющие для субблоков** и элементы внутри- и межблочного монтажа.

В качестве последних можно использовать многослойные печатные и соединительные платы, разъёмы, переходные колодки, плоские кабели, объёмный монтаж.

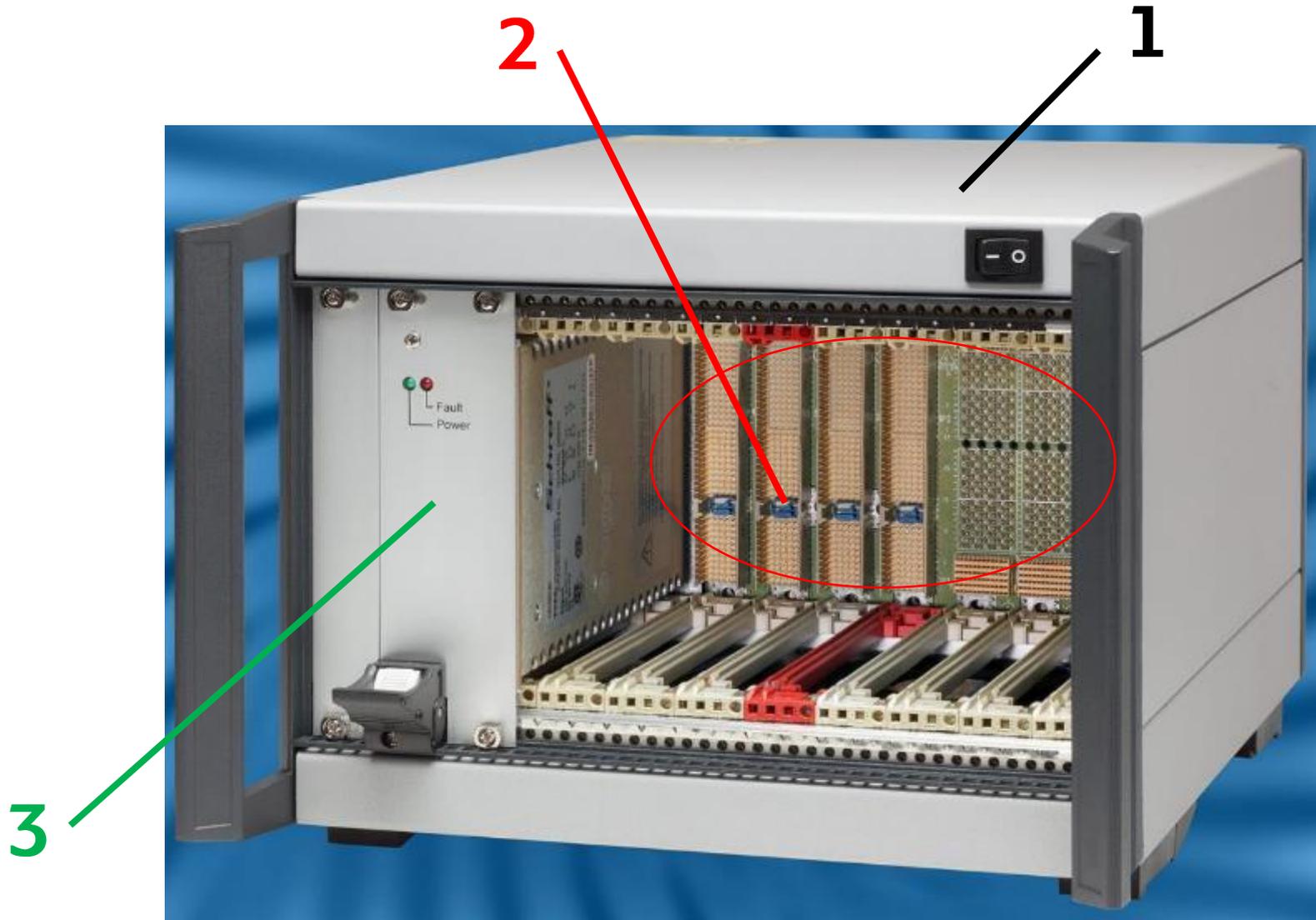
3 БЛОКИ И ПАНЕЛИ

Блоки и панели:

- должны быть **удобными** в сборке, наладке и эксплуатации;
- удовлетворять требованию **ремонтпригодности**;
- обеспечивать защиту от внешних воздействий;
- обеспечивать возможность внутреннего монтажа до их установки в раму или стойку;
- обладать достаточной прочностью и жесткостью;
- иметь минимальную массу.

3 БЛОКИ И ПАНЕЛИ СТАЦИОНАРНЫХ ЭВМ. БЛОК С ВЫДВИЖНЫМИ СУББЛОКАМИ

конструктивные модули и формфакторы



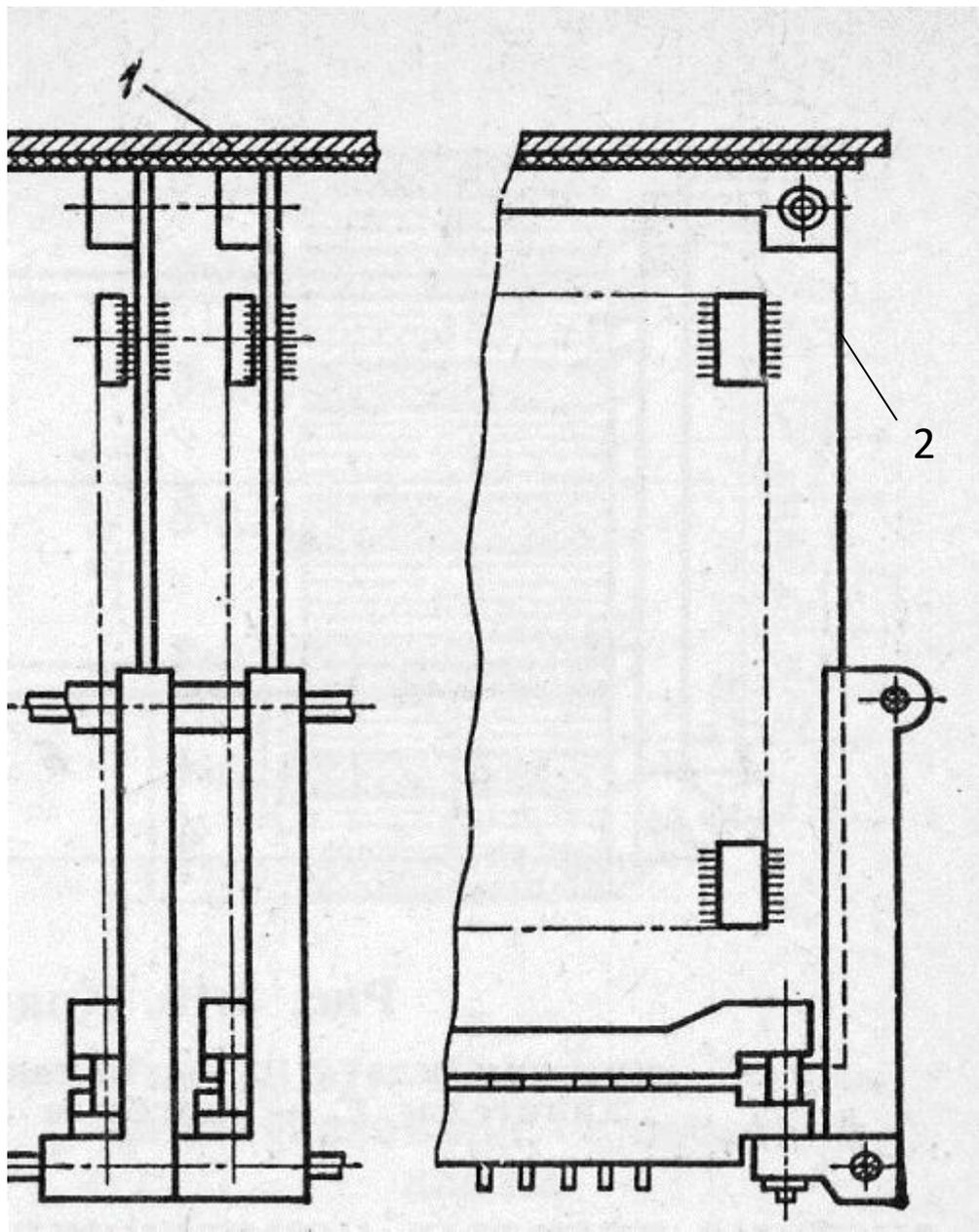
- 1 – корпус блока (крейт)
- 2 – монтажная панель (backplane)
- 3 – модуль (блок питания), типовой элемент замены

3 ШАССИ ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЬЮТЕРА



3 ГРУППОВОЙ СПОСОБ КРЕПЛЕНИЯ СУББЛОКОВ В БЛОКЕ

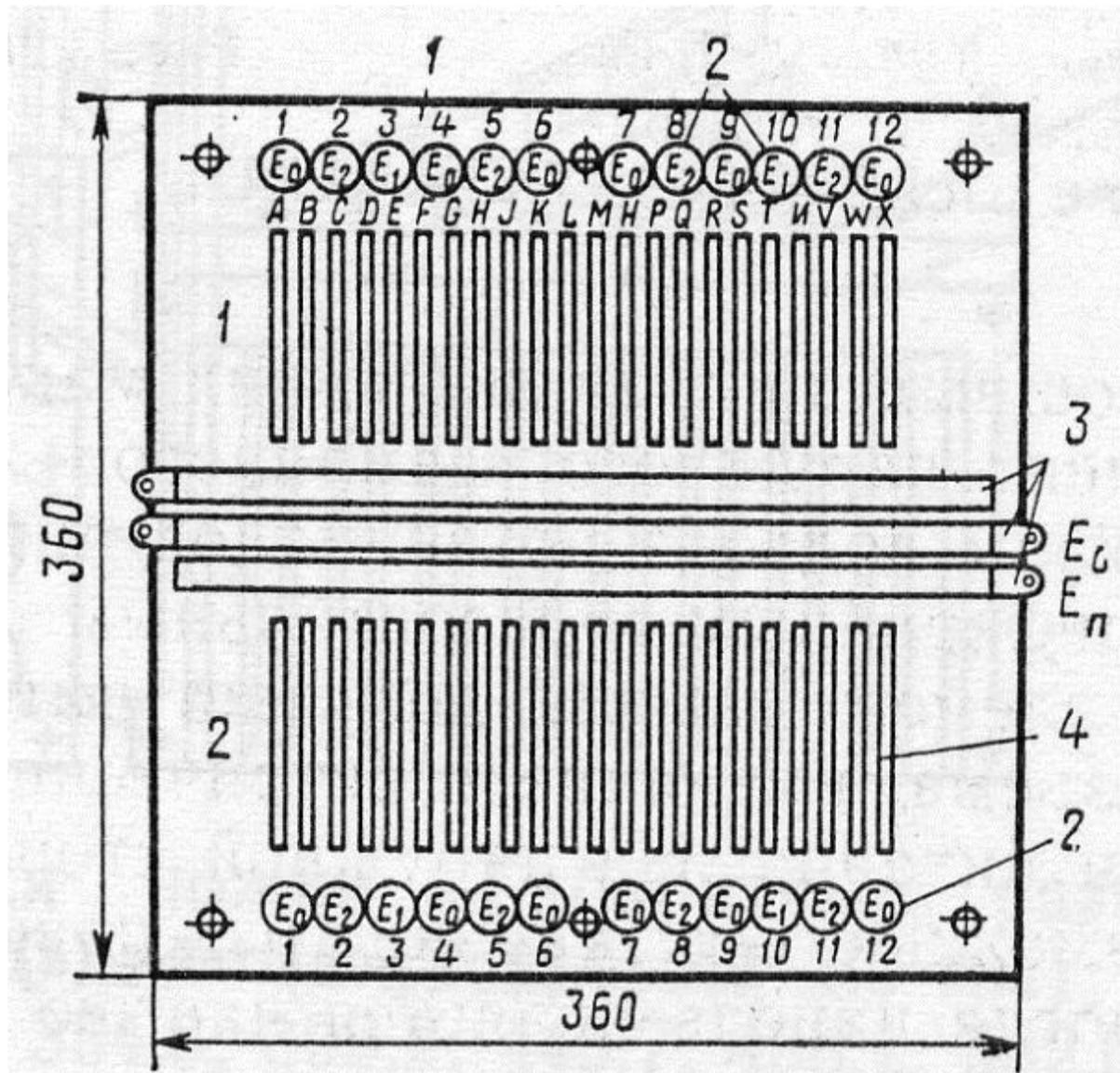
конструктивные модули и формфакторы



1 – прижимная планка,
лицевая панель;
2 – плата

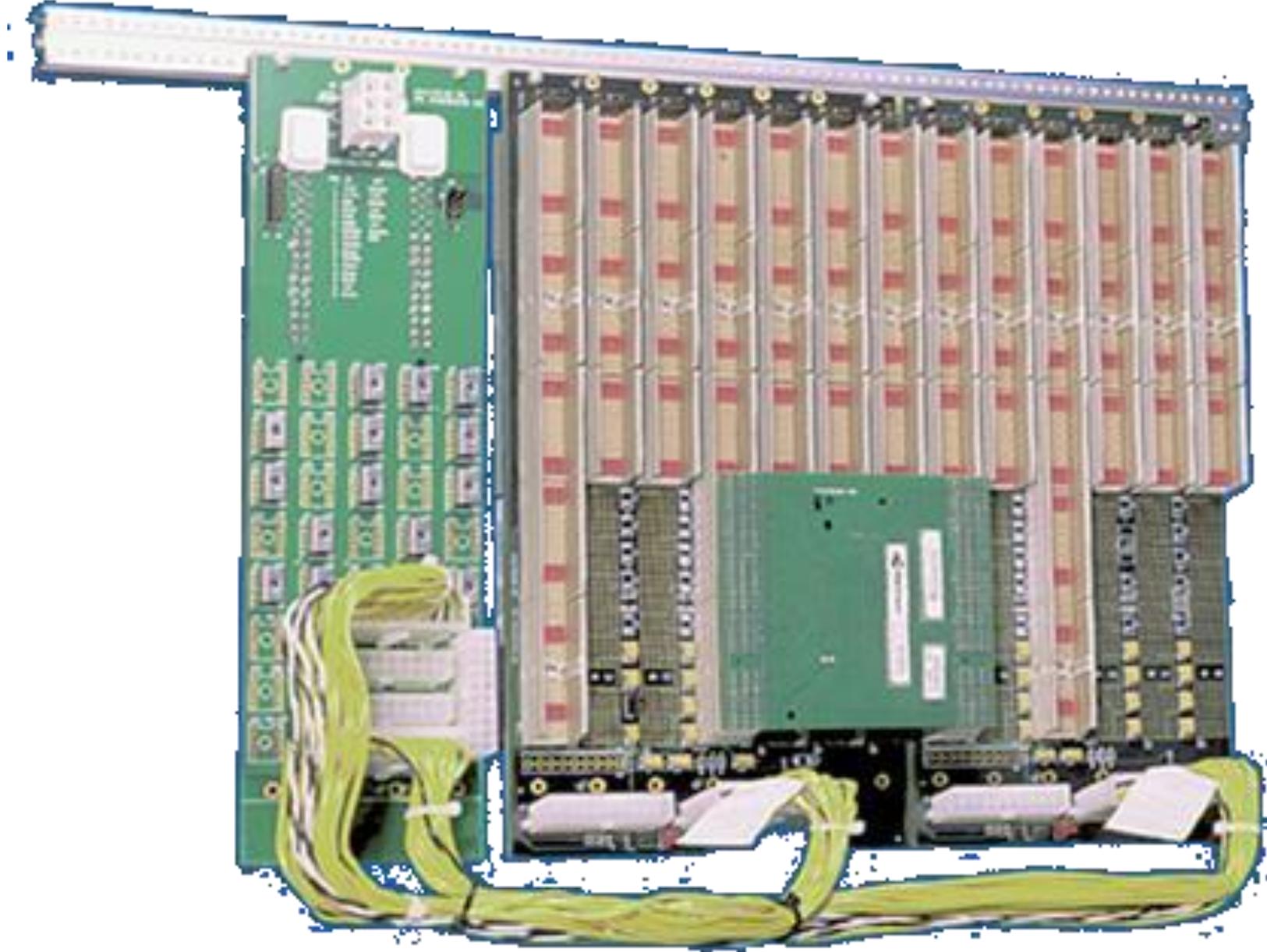


3 СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ С МОНТАЖНОЙ СТОРОНЫ ПАНЕЛИ



- 1 – МПП панели;
- 2 – узлы подвода питания и «земли»;
- 3 – навесные шины питания;
- 4 – вилка соединителя ТЭЗ

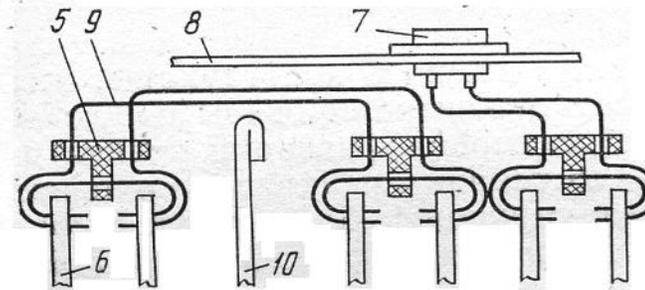
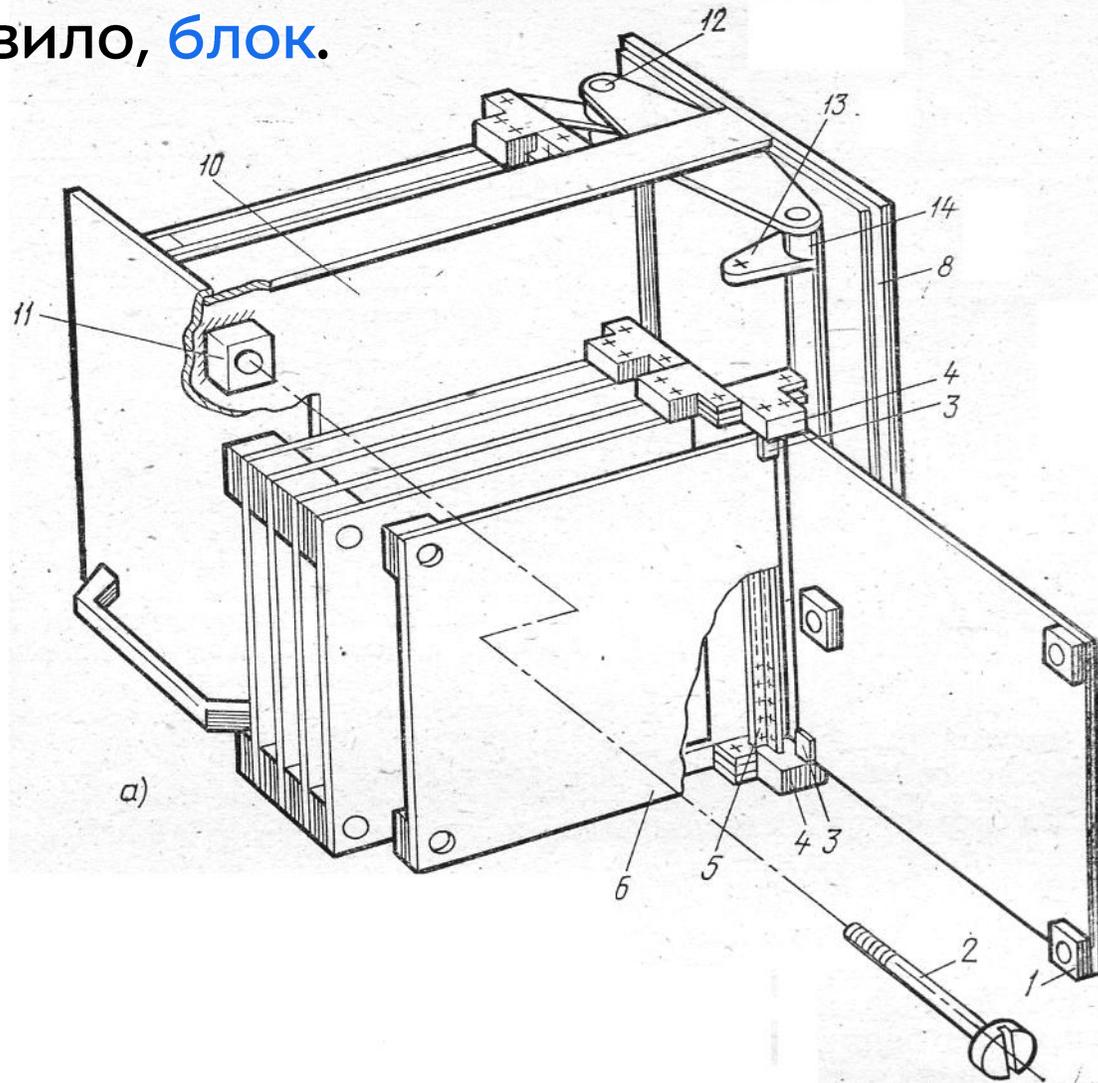
3 МОНТАЖНАЯ ПАНЕЛЬ (BACKPLAIN)



конструктивные модули и формфакторы

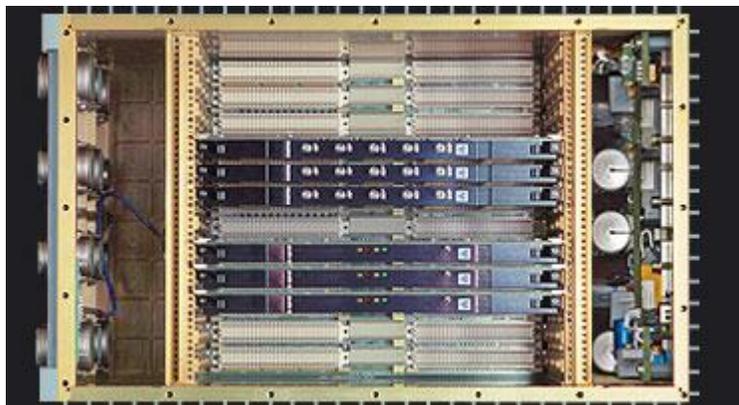
3 БЛОКИ И ПАНЕЛИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЭВМ

В нестационарных ЭВМ типовым элементом замены является, как правило, **блок**.



- 1 – распорная втулка;
- 2 – стяжной винт;
- 3 – элемент подвески;
- 4 – шарнирный узел;
- 5 – планка;
- 6 – печатная плата;
- 7 – внешний соединитель;
- 8 – панель;
- 9 – монтажный проводник;
- 10 – стенка;
- 11,14 – втулки;
- 12 – ось раскрытия;
- 13 – кронштейн

3 ATR (AVIATION TRANSPORT RACK)



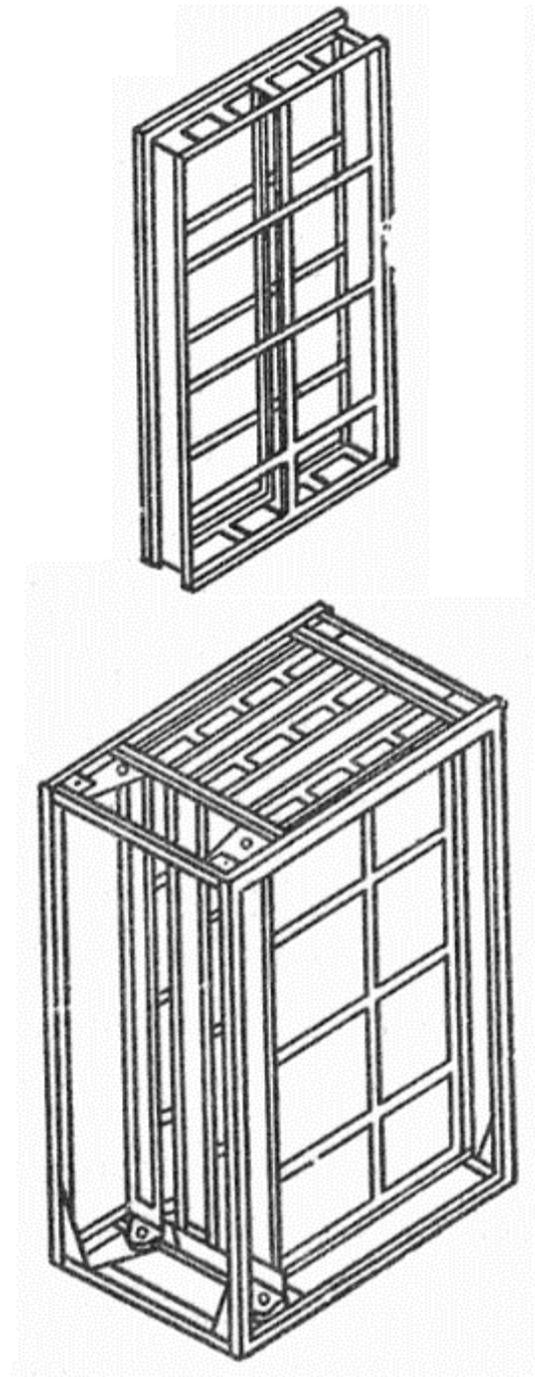
4 РАМЫ И СТОЙКИ

- рама - конструктивная единица, служащая для размещения и механического крепления одной или нескольких панелей
- стойка (шкаф) - закрытая конструкция, служащая для размещения рам с панелями и некоторого числа дополнительных устройств

- рамы и стойки используют для:
 - размещения;
 - механического крепления;
 - электрического соединения конструктивных модулей предыдущего уровня.
- в рамах или стойках, как правило, устанавливают:
 - блоки питания;
 - основные элементы обеспечения нормального теплового режима, например, вентиляторы или кондиционеры.

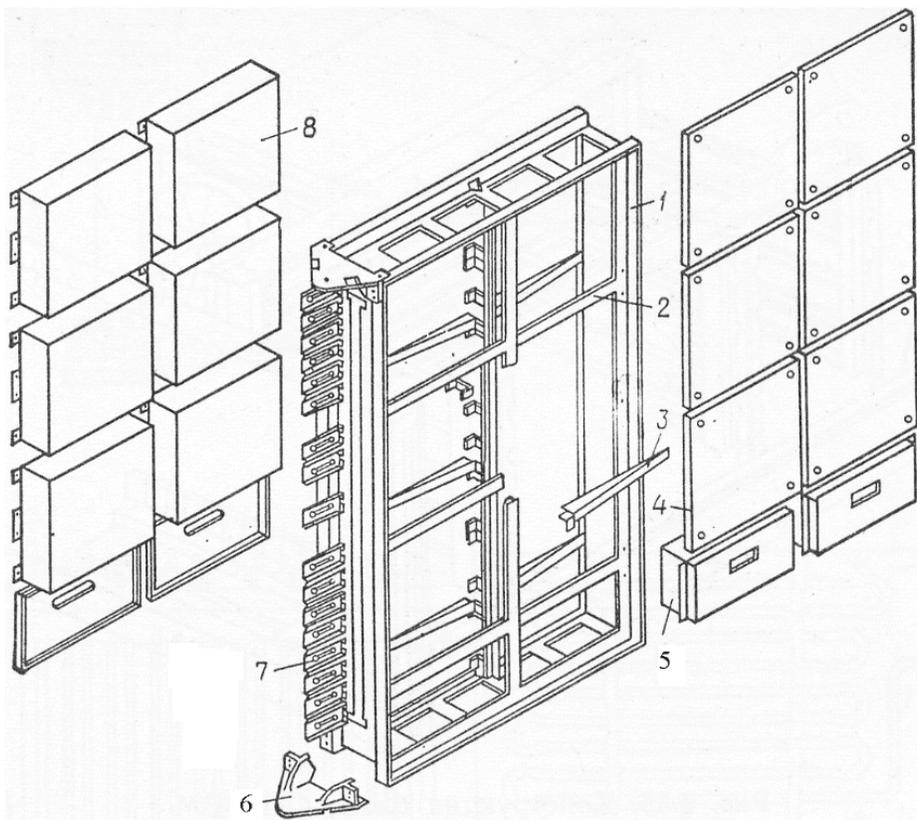
Стойки выполняют также функции **защиты оборудования** от внешних воздействий и поэтому являются **закрытыми** конструкциями.

Рамы, как элементы промежуточного крепления – **открытыми**.



4 РАМЫ (1/2)

Используются для размещения, крепления и электрического соединения блоков или панелей. Несущая деталь рамы – сварной или сборный **каркас** нормализованного профиля.



- 1 – сварной каркас;
- 2 – перемычка каркаса;
- 3 – направляющие;
- 4 – крышки;
- 5 – блок вентиляторов;
- 6 – кронштейн;
- 7 – разъем;
- 8 – панели

4 РАМЫ (2/2)

Сварной каркас

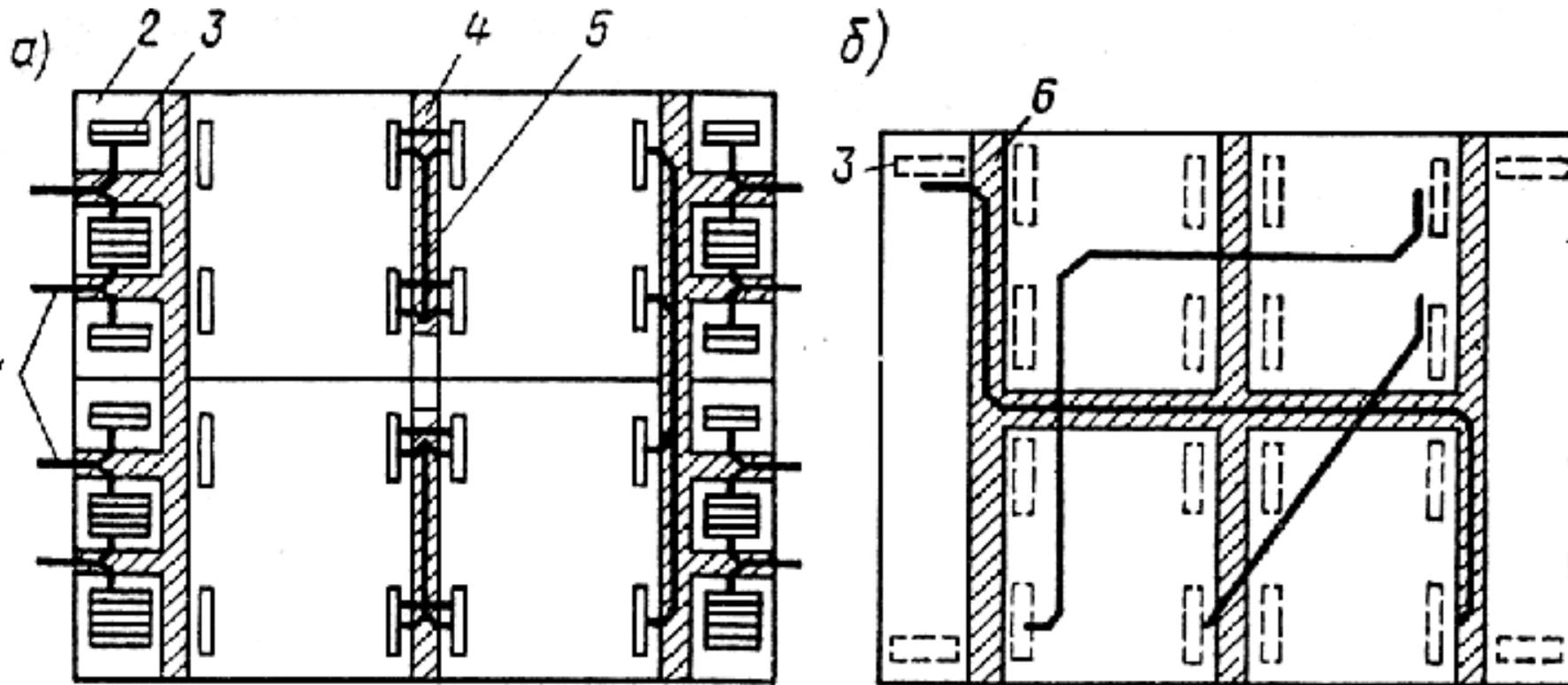
Рама



4 РАМЫ. ЭЛЕКТРОМОНТАЖ

- **Внутрирамный монтаж** и вывод внешних связей выполняется **жгутами и кабелями**.
- **Соседние панели** между собой могут **соединяться прямыми перемычками**, подсоединяемыми к выводам переходных колодок.
- **Монтаж жгутами** выполняется упорядоченно **с двух сторон рамы**.
- **Жгуты с ограниченной подвижностью** располагают на **лицевой стороне рамы** в основном **в вертикальных межпанельных каналах**.
- **Неподвижные жгуты** – главным образом **на монтажной стороне**, как правило, **в горизонтальных каналах**.
- **Электромонтаж** между прилегающими горизонтальными сторонами панелей может выполняться **плоскими кабелями**.
- **Для критичных связей** в пределах рамы можно проводить **соединения по кратчайшему пути**.

4 СХЕМА ТРАССИРОВКИ СВЯЗЕЙ НА ЛИЦЕВОЙ (А) И МОНТАЖНОЙ (Б) СТОРОНАХ РАМЫ

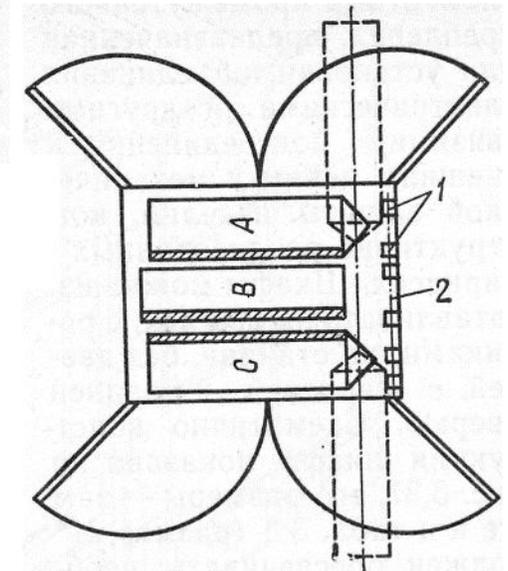
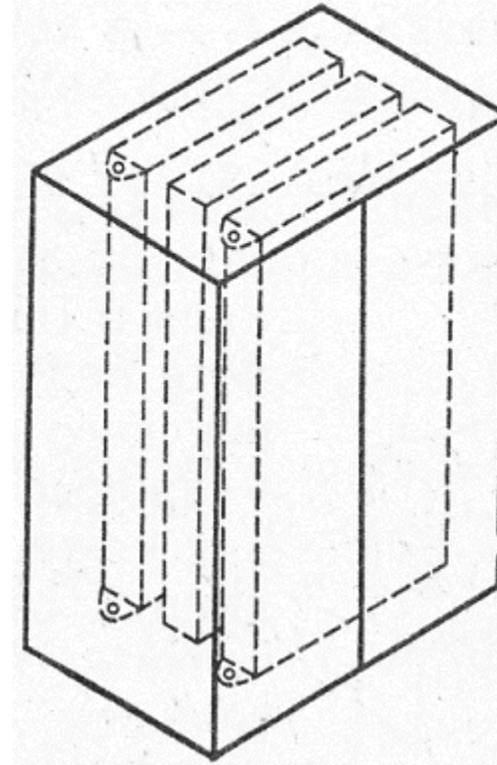


- 1 – внешние рамные соединения;
- 2 – зоны размещения внешних соединителей рамы;
- 3 – внешние соединители рамы;
- 4 – специальные кабельные каналы;
- 5 – межпанельные соединения плоским кабелем
- 6 – монтажный канал для дискретных кабелей

4 СТОЙКИ

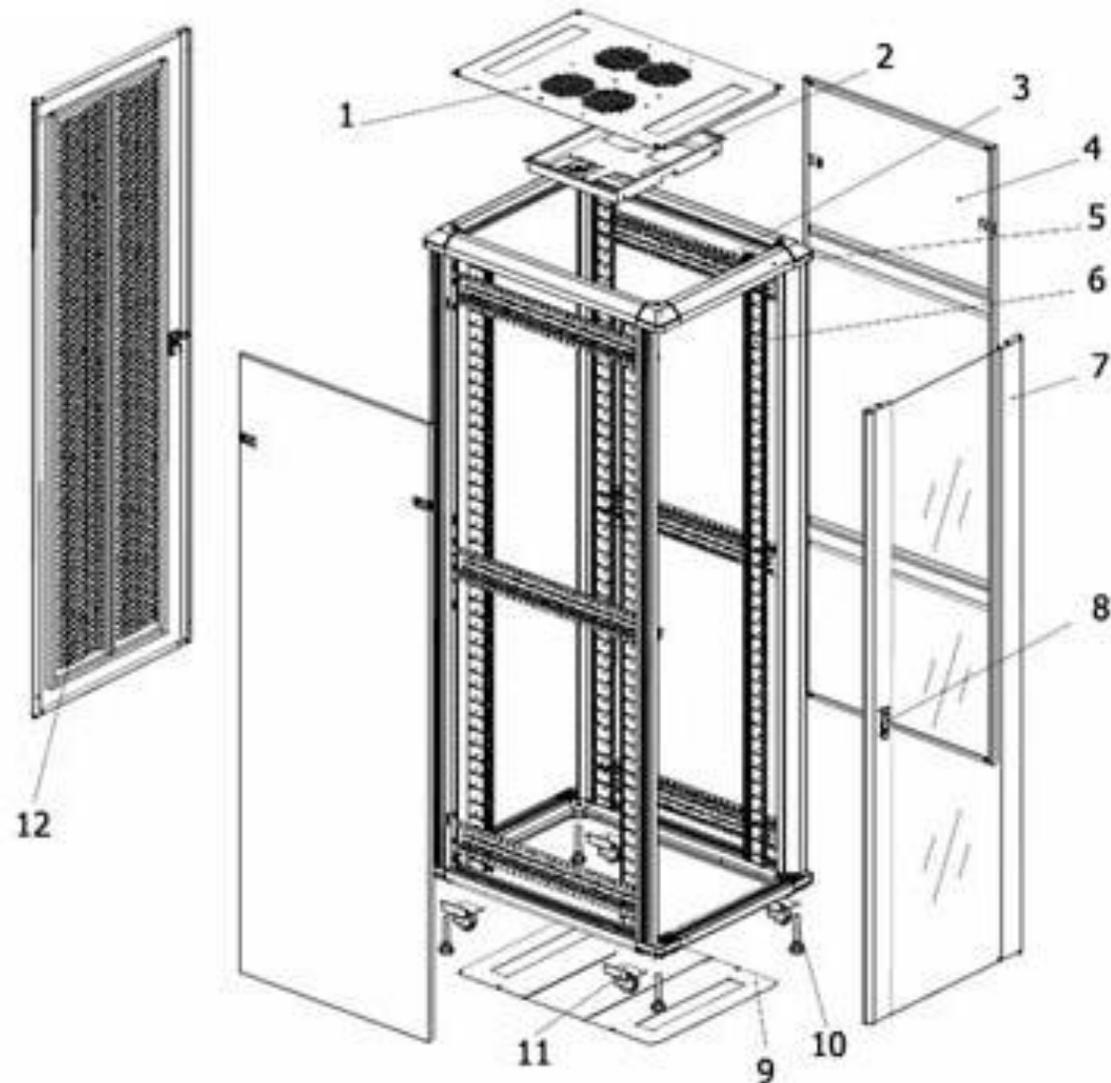
Стойка – это несущая конструкция, предназначенная для:

- установки КМ, деталей и агрегатов, входящих в нее;
- объединения их электрическими и другими связями;
- подсоединения к внешним цепям;
- механической защиты.



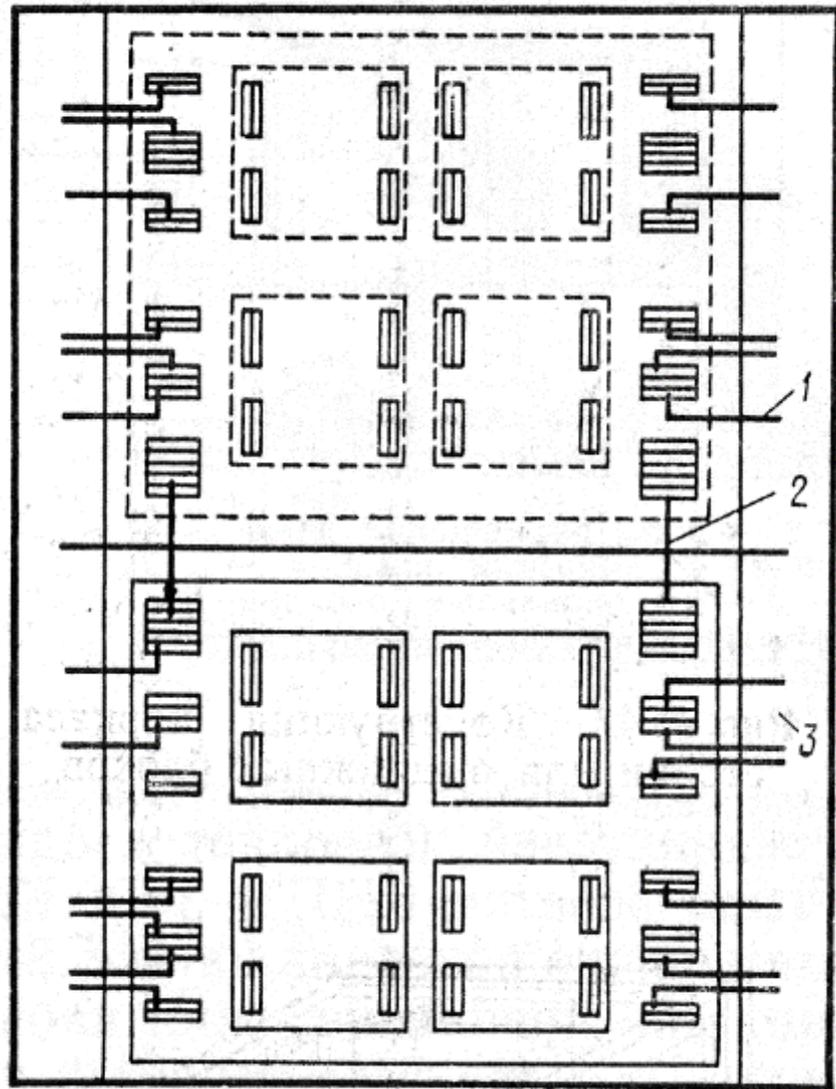
1 – выходные разъемы стойки;
2 – кабельный ствол

4 КАРКАС СТОЙКИ ДЛЯ УСТАНОВКИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ БЛОКОВ

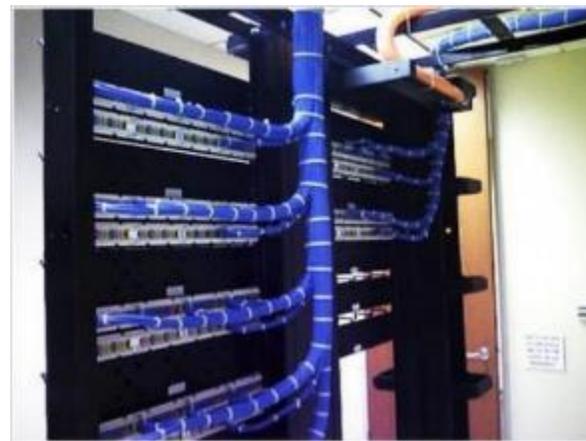


- 1 – Верхняя панель
- 2 – Вентиляционная панель (на заказ)
- 3 – Поперечный монтажный профиль
- 4 – Съёмная боковая панель
- 5 – Алюминиевый каркас
- 6 – 19" монтажный профиль
- 7 – Передняя дверь из высокопрочного стекла
- 8 – Замок
- 9 – Нижняя панель
- 10 – Регулируемые ножки
- 11 – 2" ролики
- 12 – Перфорированная задняя дверь

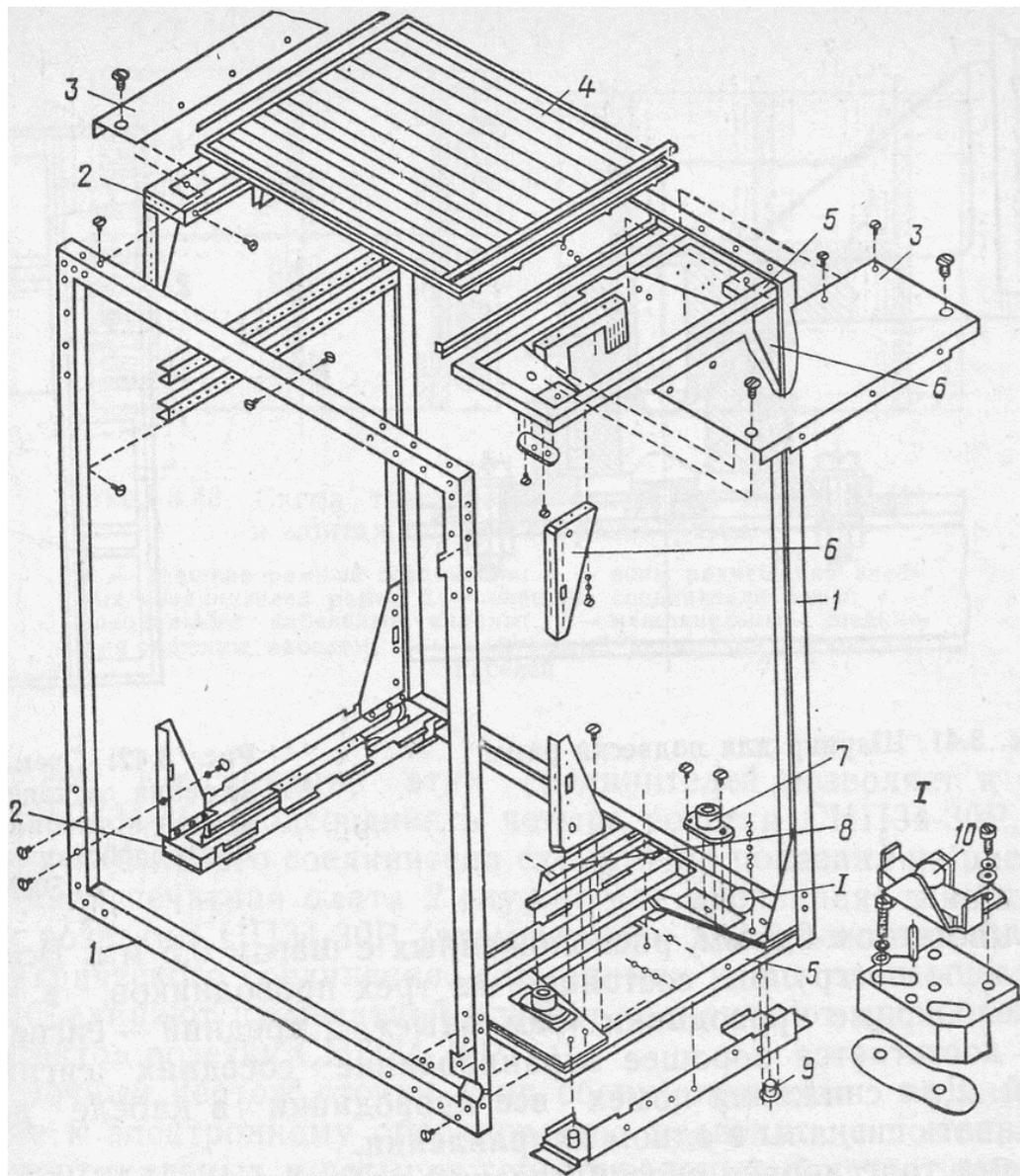
4 СХЕМА ВЫПОЛНЕНИЯ МЕЖРАМНЫХ И МЕЖСТОЕЧНЫХ СВЯЗЕЙ КАБЕЛЕМ



- 1 – межстоечный монтаж;
- 2 – межрамный монтаж;
- 3 – кабельный ствол



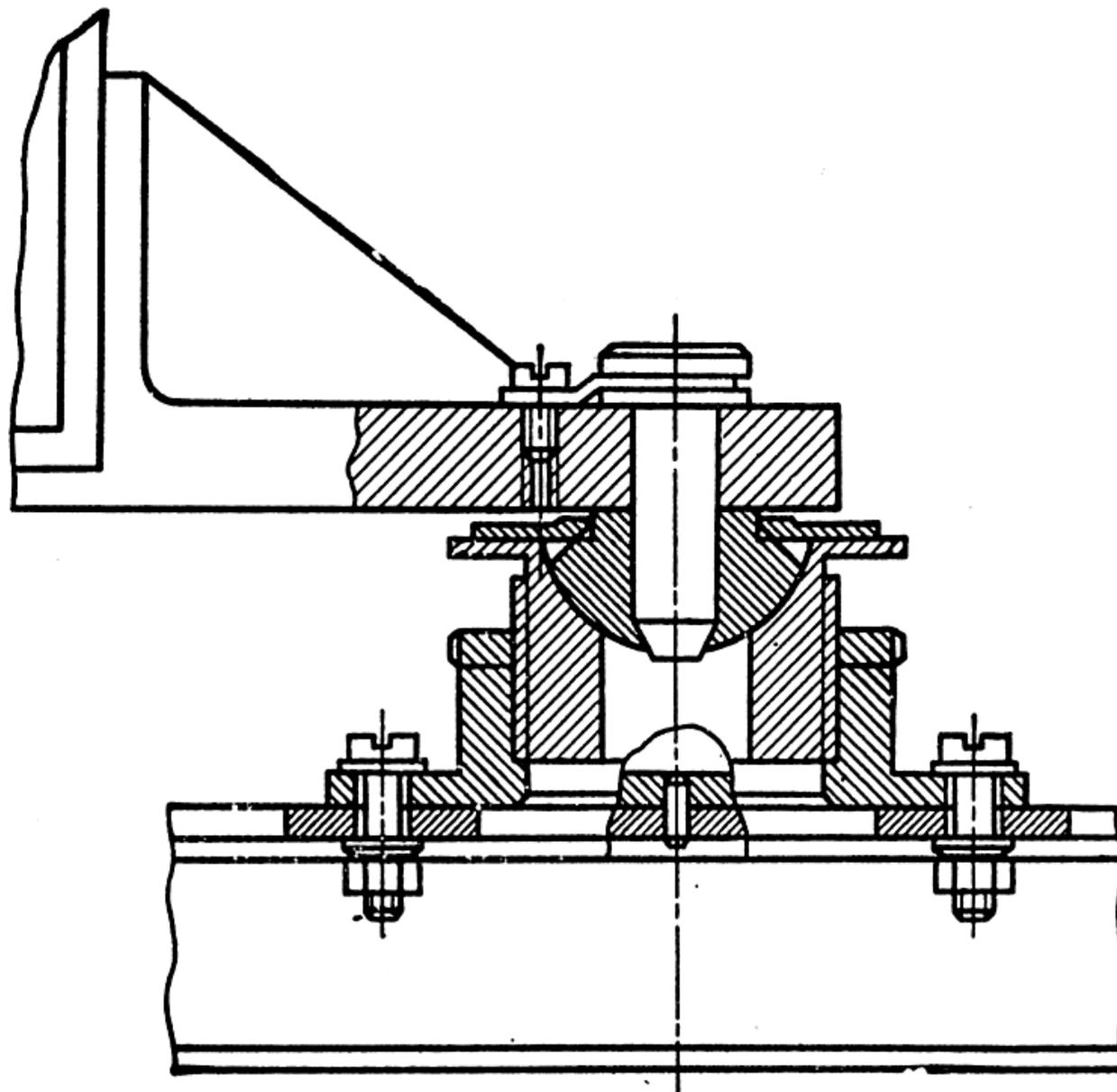
4 КАРКАС ТРЕХРАМНОЙ СТОЙКИ



Основой стойки служит несущий каркас, состоящий из сварных рам, соединенных сваркой или болтами.

- 1 – рама;
- 2 – рама;
- 3 – обшивка;
- 4 – решетка;
- 5 – рама;
- 6 – косынки;
- 7 – втулки;
- 8 – кронштейны;
- 9 – регулируемые опоры стойки;
- 10 – фиксатор

4 ШАРНИР ДЛЯ ПОДВЕСКИ РАМЫ



ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ КОМПОНОВКА КОНСТРУКТИВНОГО МОДУЛЯ (КМ)

Геометрическая компоновка – это выбор:

- формы КМ;
- взаимного расположения;
- способов перемещения друг относительно друга;
- определения размеров КМ;
- и кратности их повторения по главным геометрическим направлениям.

Взаимное расположение КМ с учетом возможности их повторения по главным геометрическим направлениям называется **компоновочной схемой** или **схемой геометрической компоновки**.

Форма КМ и их геометрическая компоновка должны обеспечивать выполнение конструктивно-технологических требований и установленные значения тех показателей ВТ, оговоренных в ТЗ, которые зависят от формы и геометрической компоновки.

1 ВЫБОР ФОРМЫ КМ И ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КОМПОНОВКИ

Шаг 1.

**Выбор формы КМ и типовые схемы
геометрической компоновки**

1 ВЫБОР ФОРМЫ КМ И ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КОМПОНОВКИ

Основной показатель ВТ, зависящий от формы и геометрической компоновки - **быстродействие.**

В качестве критерия используется **минимальная длина линии связи** между наиболее удаленными точками КМ.

1 ВЫБОР ФОРМЫ КМ И ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КОМПОНОВКИ

Постановка задачи:

- Для КМ с плоскостной компоновкой – найти плоскую фигуру с заданной площадью, ограниченную замкнутой кривой минимальной длины.
- Для КМ с объемной (трехмерной) компоновочной схемой – найти пространственную фигуру заданного объема, ограниченную замкнутой поверхностью минимальной площади. Площадь или объем определяется количеством компонентов КМ и возможными значениями коэффициентов заполнения монтажной плоскости или объема.

1 ВЫБОР ФОРМЫ КМ И ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КОМПОНОВКИ

Если компоненты КМ рассматриваются как материальные точки, то искомая фигура – соответственно **круг или шар**.

Эти фигуры не удовлетворяют большинству конструктивно-технологических требований и не обеспечивают высоких коэффициентов заполнения монтажной плоскости или объема.

Поэтому **КМ выполняют в виде прямоугольного параллелепипеда**.

ВЗАИМНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ И СПОСОБЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Ориентация монтажных плоскостей КМ соседних уровней иерархии как правило **ортогональная**, реже плоскости этих КМ параллельны, например микросхема-плата субблока.

КМ могут повторяться в одном, 2-х, 3-х геометрических направлениях.

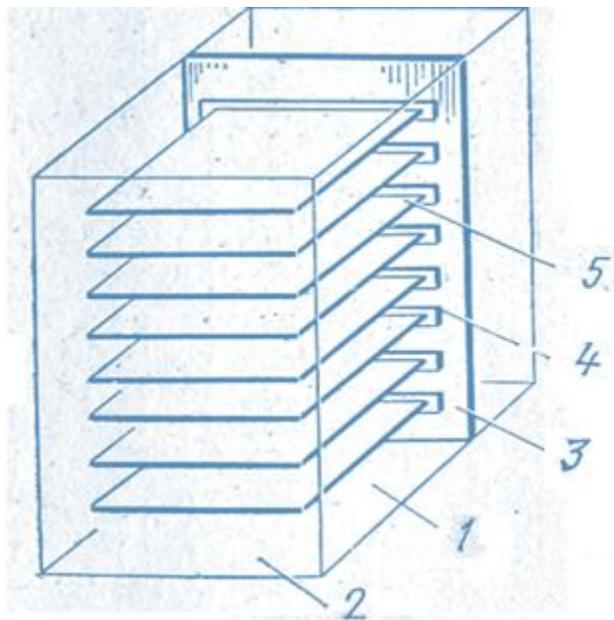
Для обеспечения доступа к элементам, требующим осмотра, регулировки или замены в процессе эксплуатации используют следующие способы перемещения:

- выдвигание,
- раскрытие (книжная конструкция),
- разворот (веерная конструкция),
- откидывание.

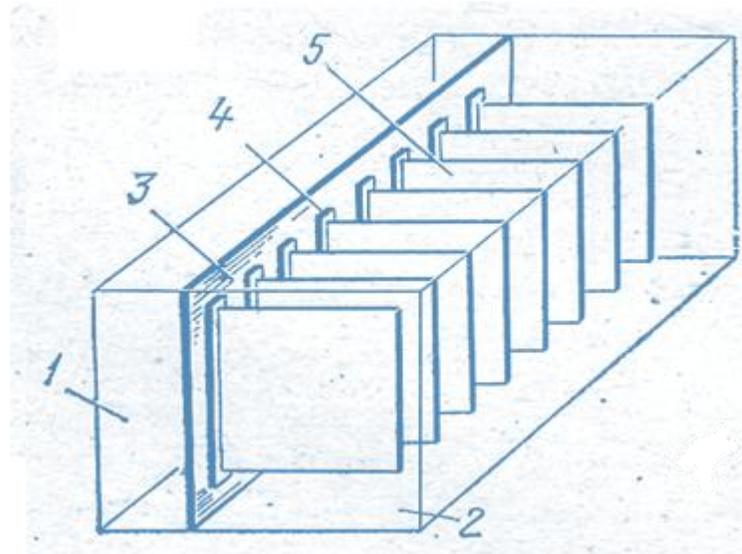
ВЫДВИГАНИЕ СУББЛОКОВ

горизонтальное

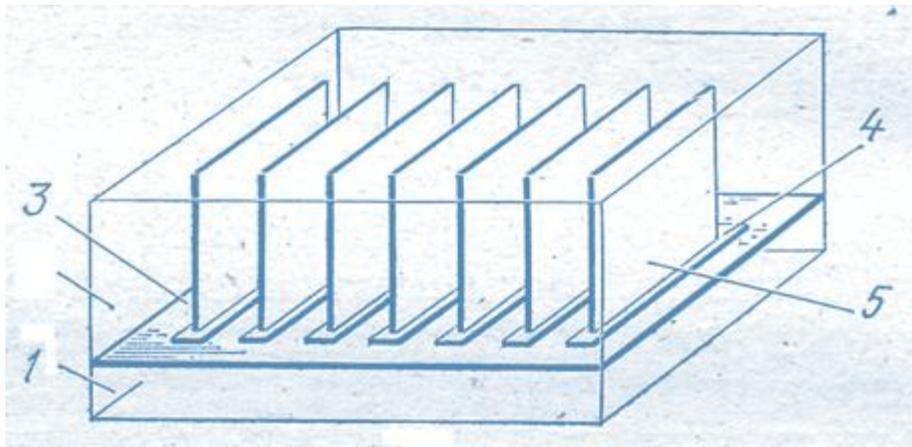
а)



б)

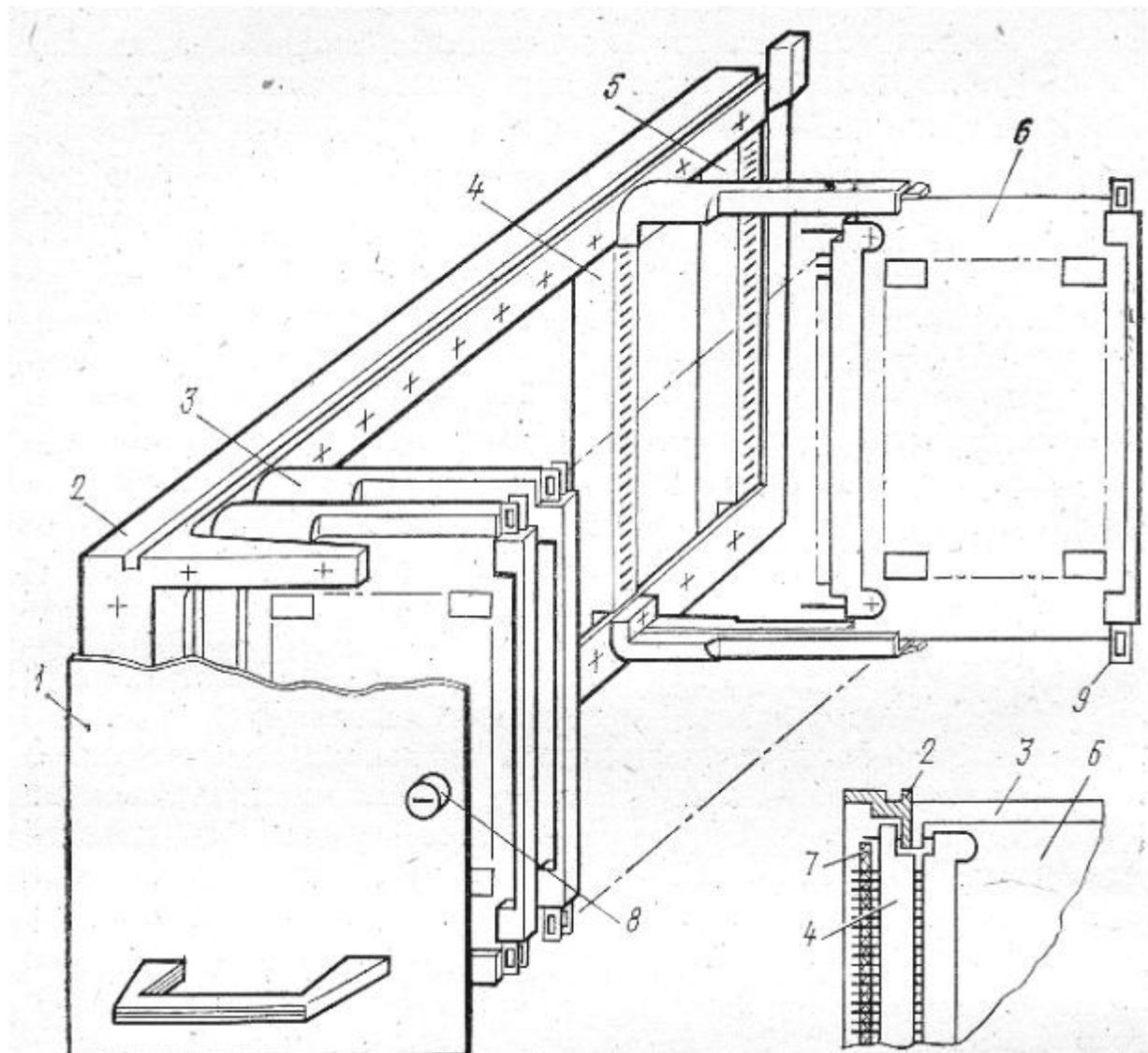


вертикальное



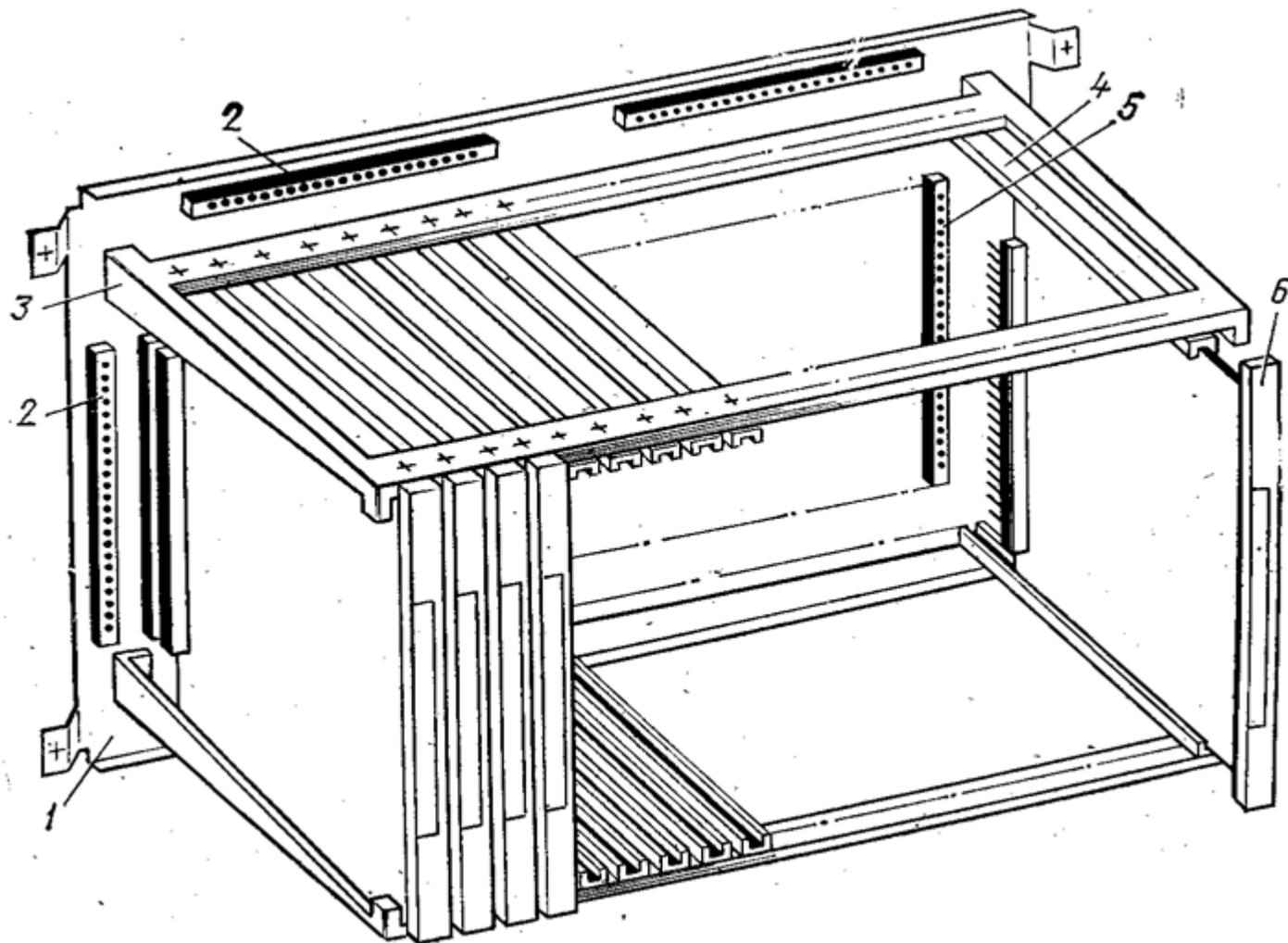
- 1 – каркас;
- 2 – лицевая панель;
- 3 – монтажная панель;
- 4 – соединитель;
- 5 – типовой элемент замены

БЛОК С ВЫДВИЖНЫМИ СУББЛОКАМИ



- 1 – лицевая панель;
- 2 – шасси;
- 3 – направляющая;
- 4 – соединитель;
- 5 – соединитель внешней коммутации;
- 6 – типовой элемент замены;
- 7 – многослойная печатная панель;
- 8 – замок;
- 9 – пружина-защелка

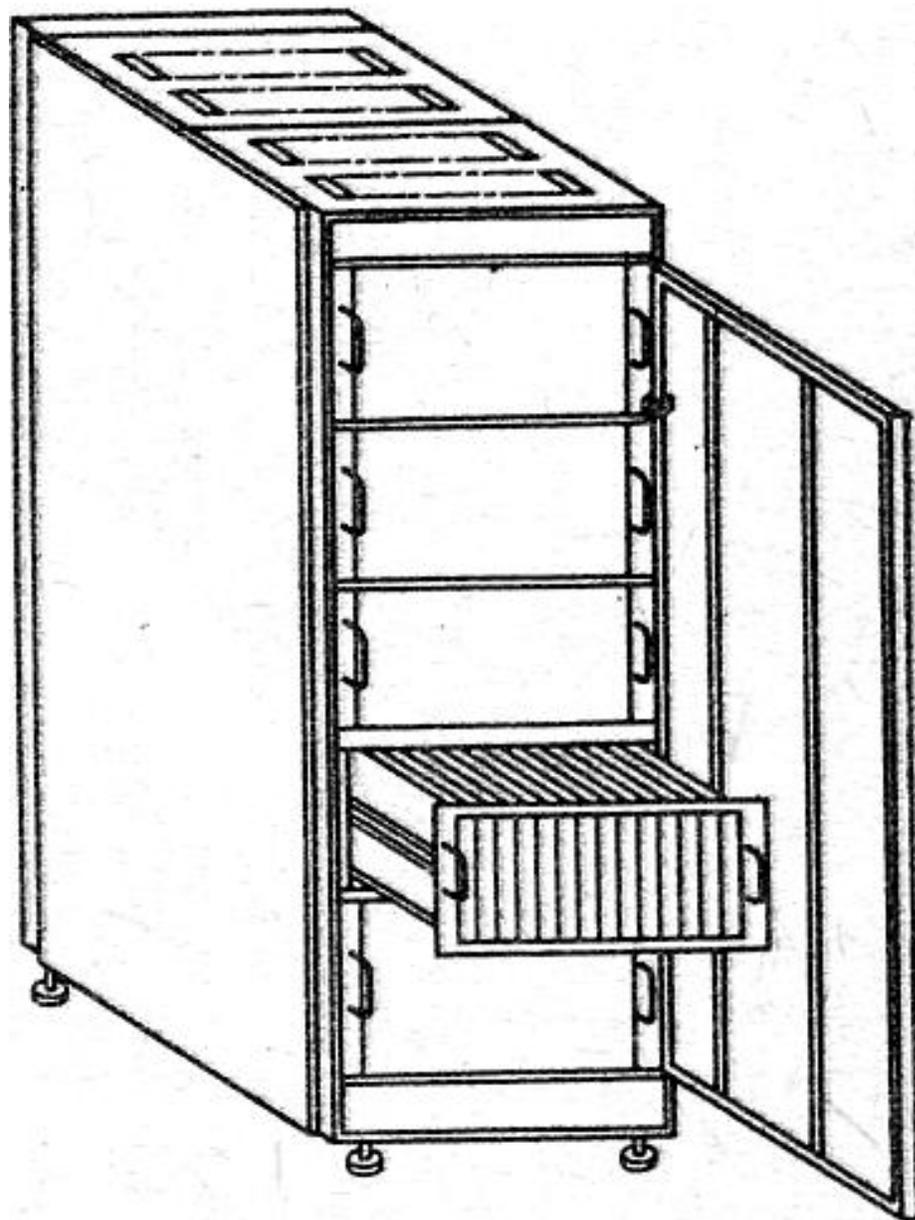
БЛОК С ВЫДВИЖНЫМИ СУББЛОКАМИ



- 1 – монтажная панель;
- 2 – соединитель
внешней коммутации;
- 3 – кронштейн;
- 4 – направляющая;
- 5 – соединитель;
- 6 – типовой элемент
замены

ШКАФ С ВЫДВИЖНЫМИ БЛОКАМИ

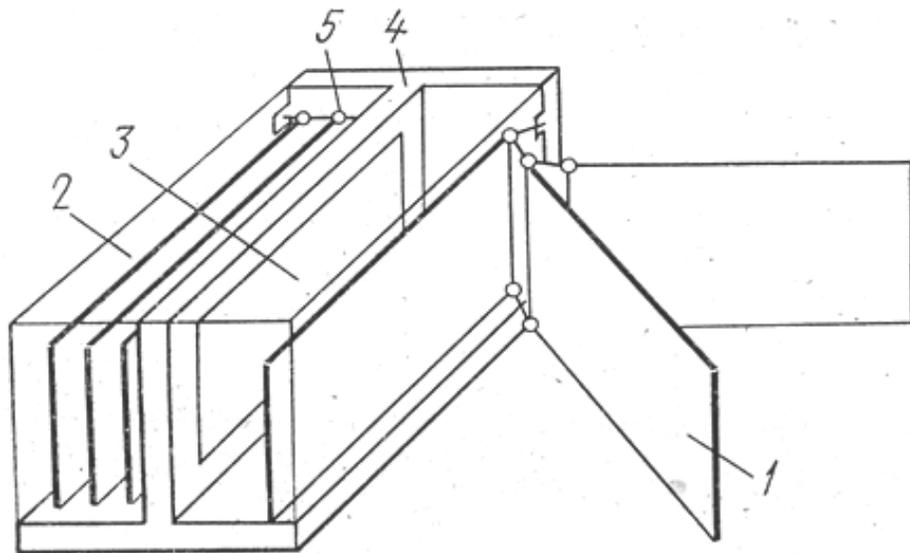
конструктивные модули и формфакторы



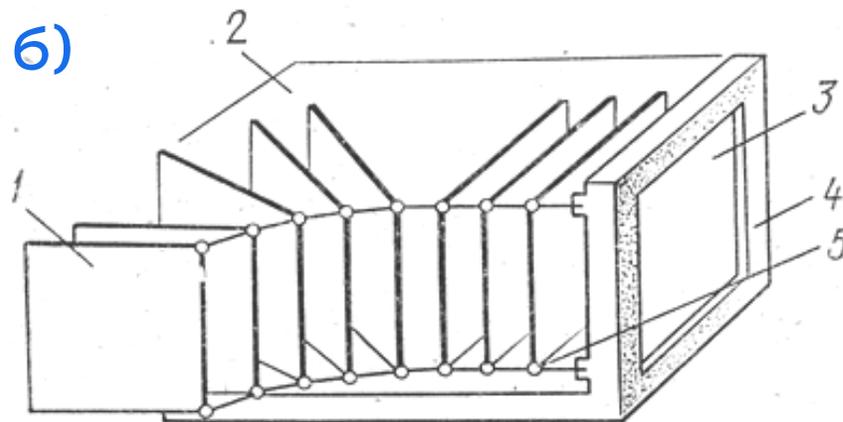
ОСИ РАСКРЫТИЯ СУББЛОКОВ В БЛОКАХ КНИЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ

вертикальная

а)

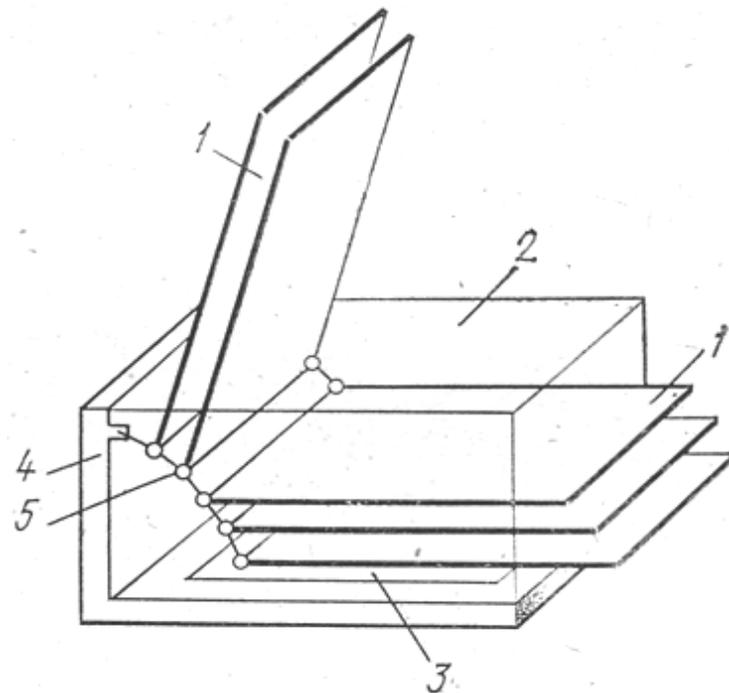


б)

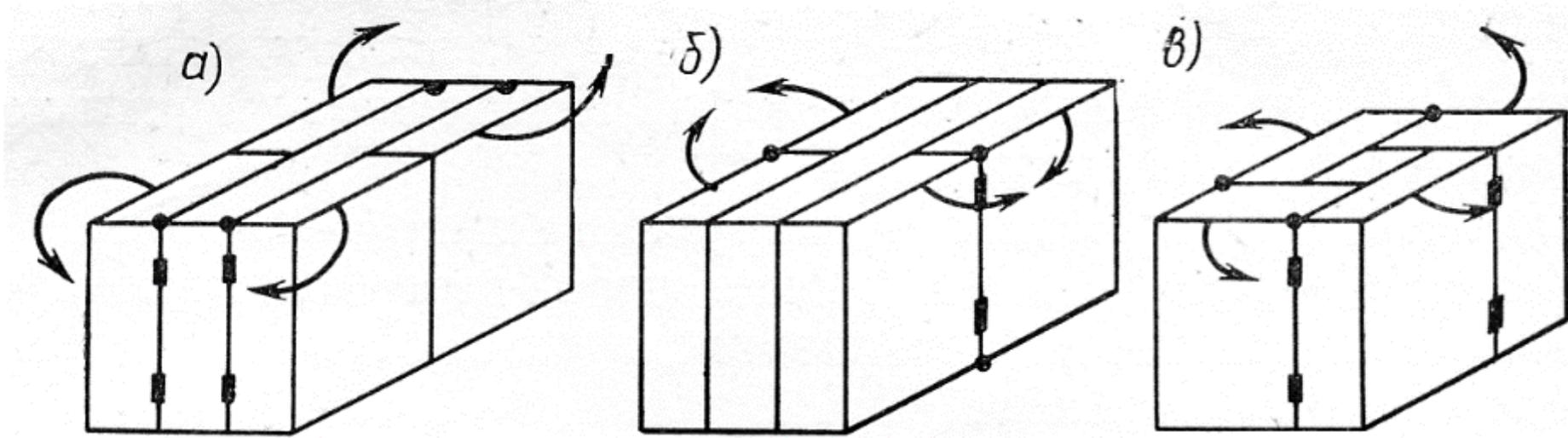


горизонтальная

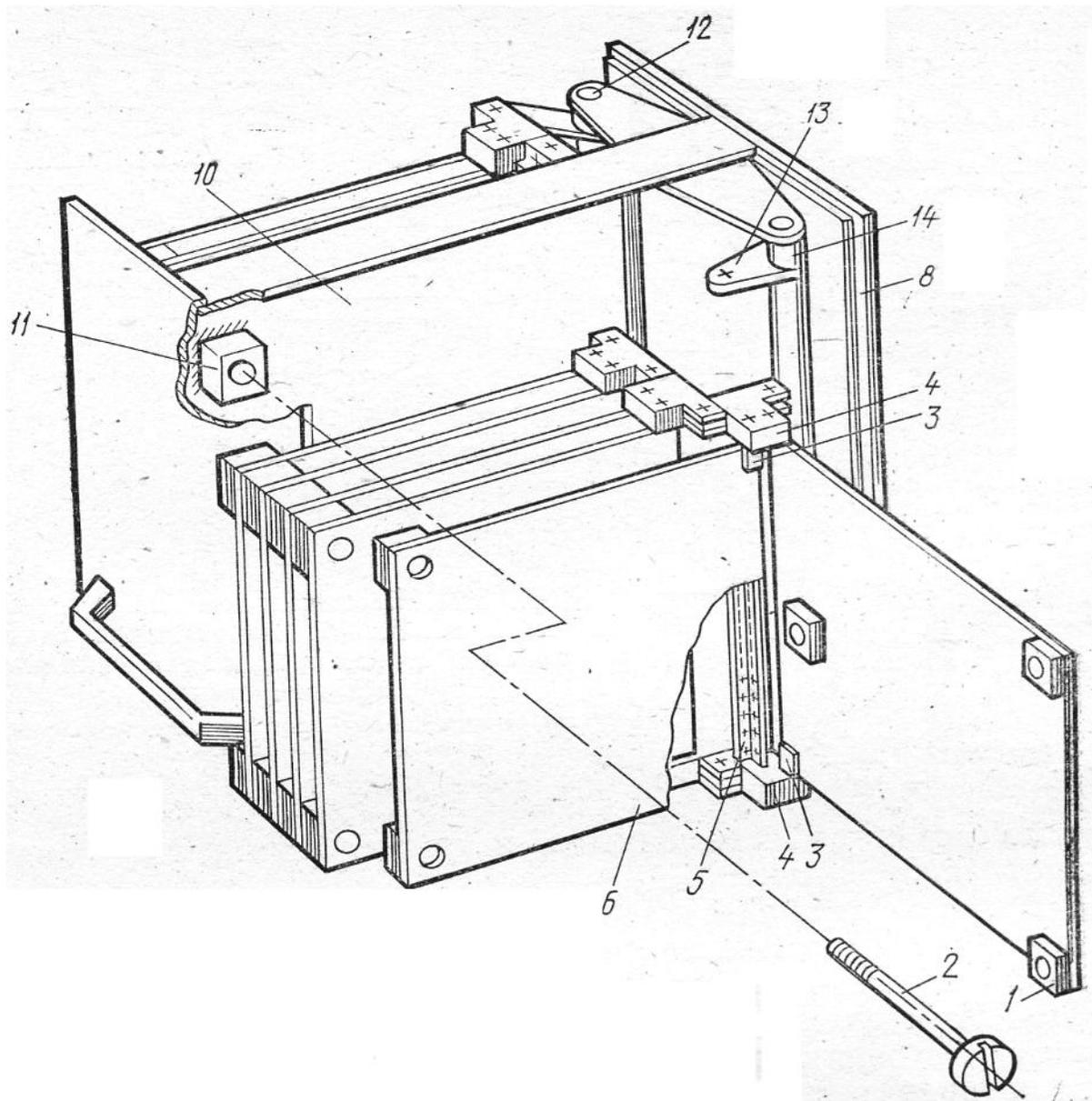
- 1 – ячейка;
- 2 – кожух;
- 3 – коммутационная печатная плата;
- 4 – задняя панель;
- 5 – шарнирный узел



СХЕМЫ КНИЖНОЙ КОМПОНОВКИ БЛОКОВ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ОСЯМИ РАСКРЫТИЯ

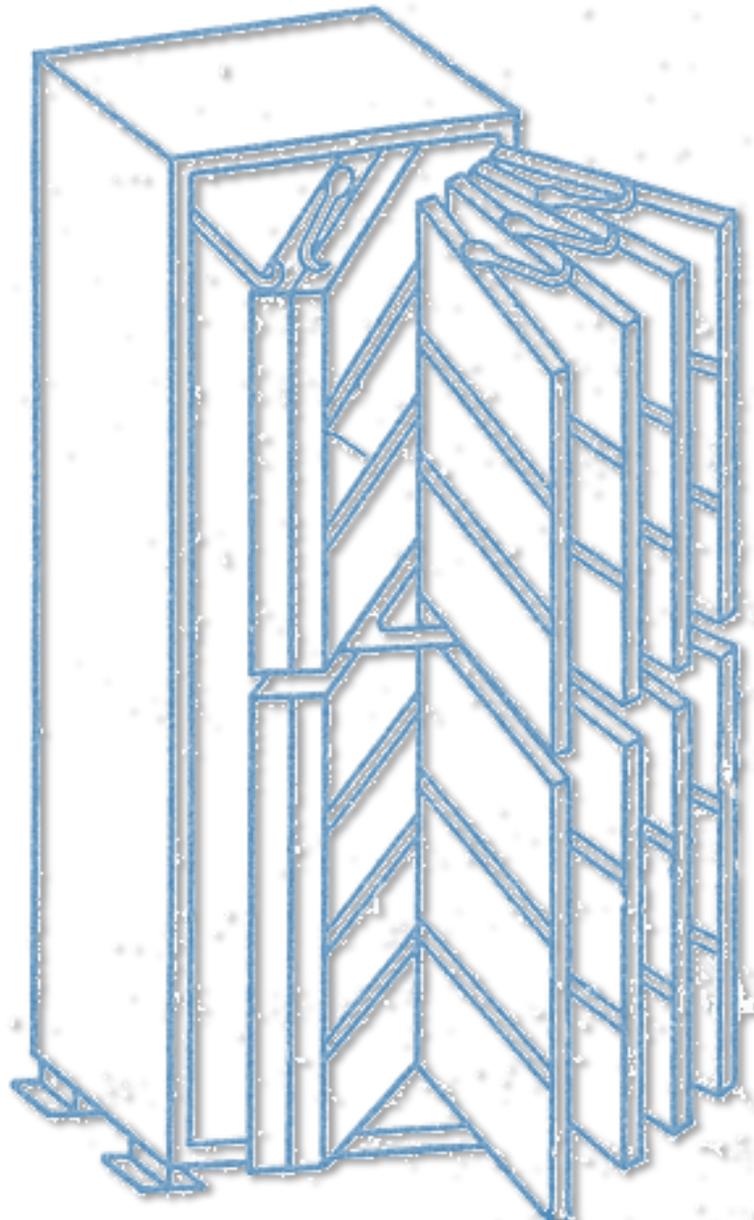


КОНСТРУКЦИЯ БЛОКА КНИЖНОЙ КОМПОНОВКИ



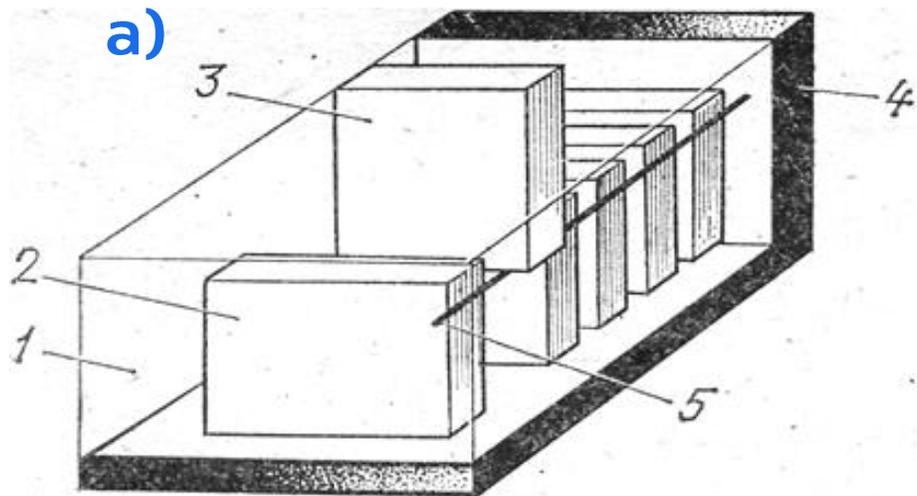
- 1 – распорная втулка;
- 2 – стяжной винт;
- 3 – элемент подвески;
- 4 – шарнирный узел;
- 5 – планка;
- 6 – печатная плата;
- 8 – панель;
- 10 – стенка;
- 11,14 – втулки;
- 12 – ось;
- 13 – кронштейн

КНИЖНАЯ КОНСТРУКЦИЯ СТОЙКИ С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСЬЮ РАСКРЫТИЯ РАМ

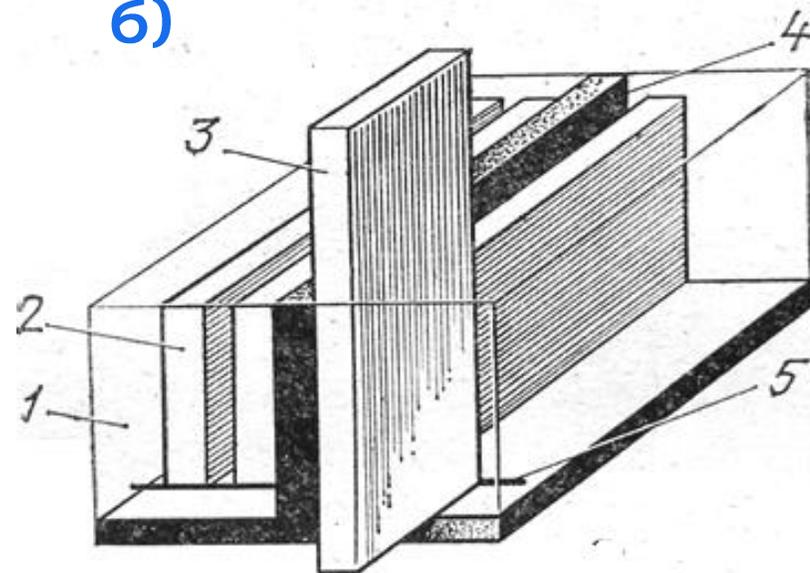


НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВОРОТА СУББЛОКОВ В БЛОКАХ

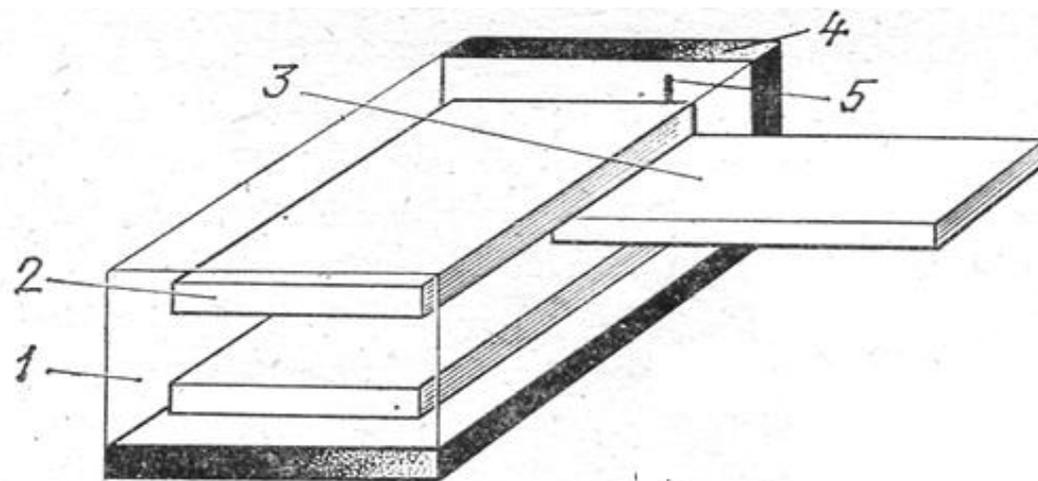
вертикальное



б)

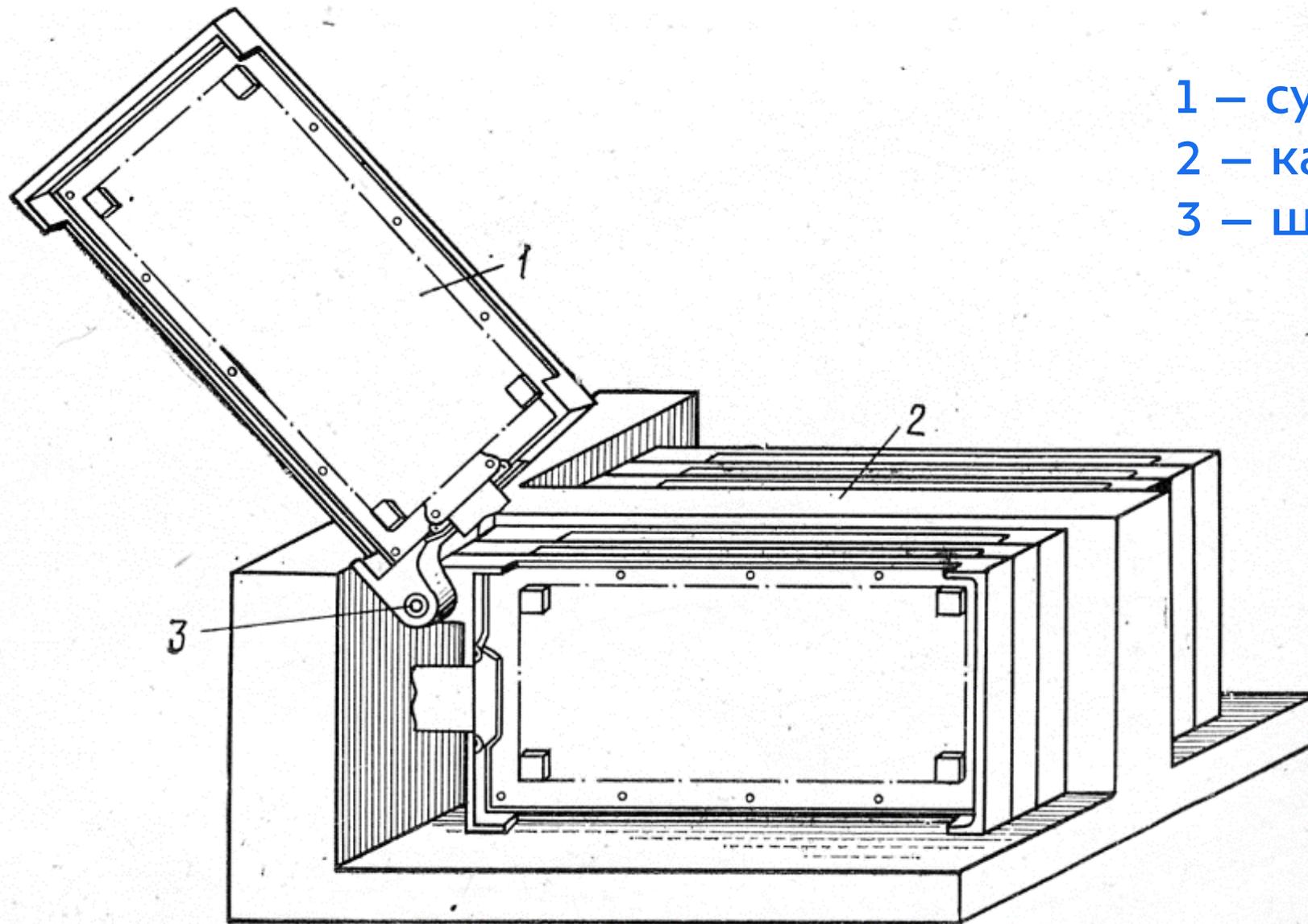


горизонтальное



- 1 – ячейка;
- 2 – кожух;
- 3 – откиннутая ячейка;
- 4 – несущая конструкция;
- 5 – шарнир

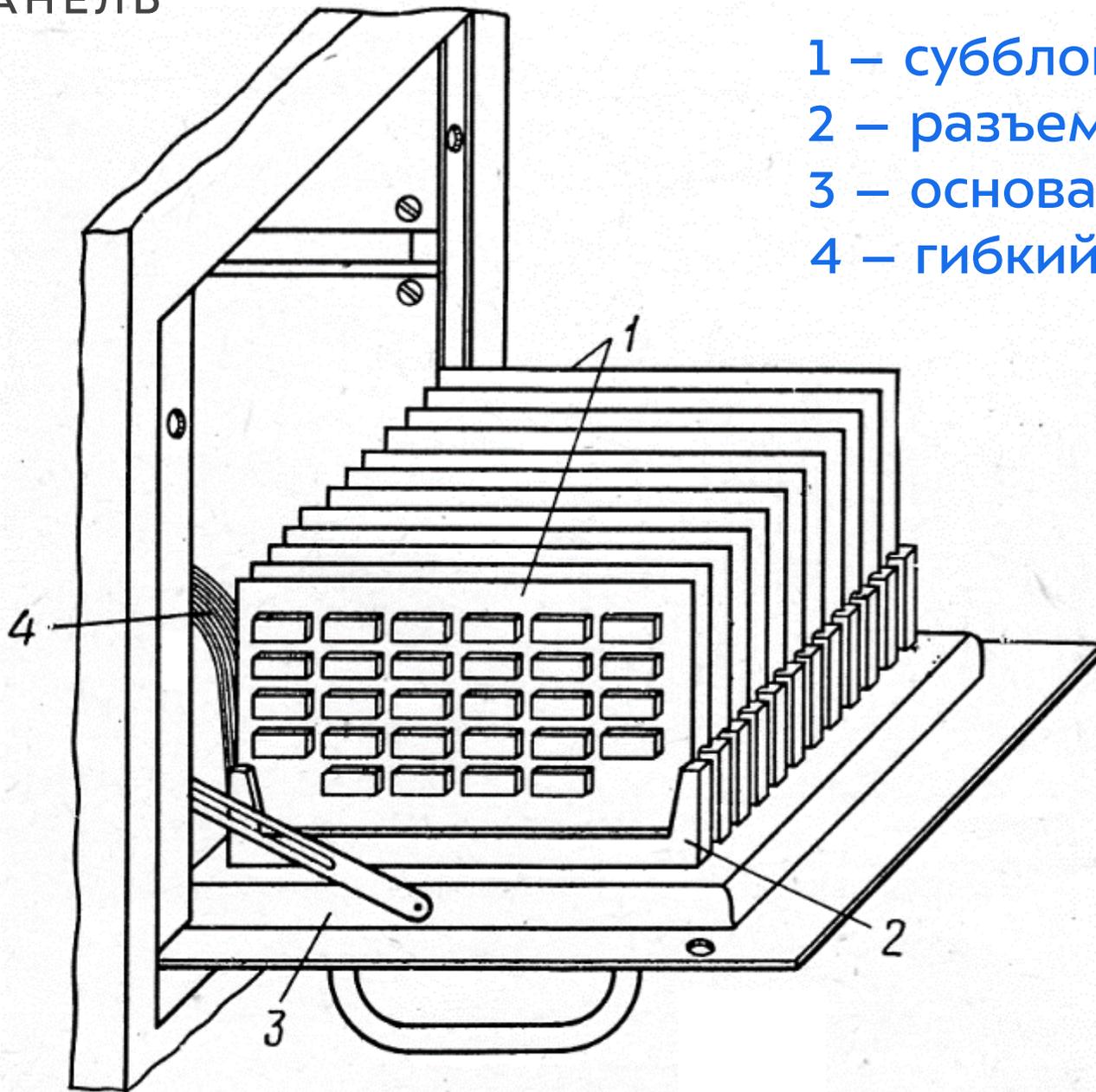
КОНСТРУКЦИЯ БЛОКА С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЬЮ РАЗВОРОТА



- 1 – субблоки;
- 2 – каркас;
- 3 – шарнир

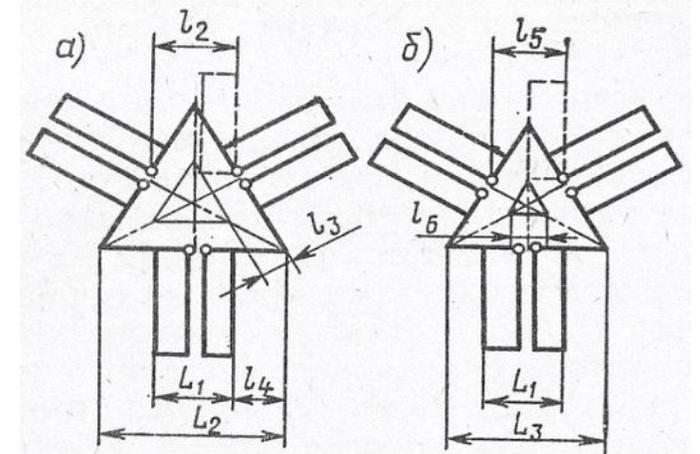
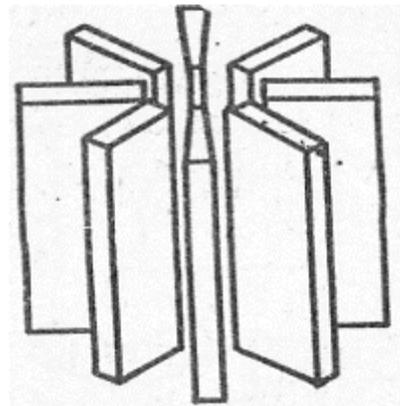
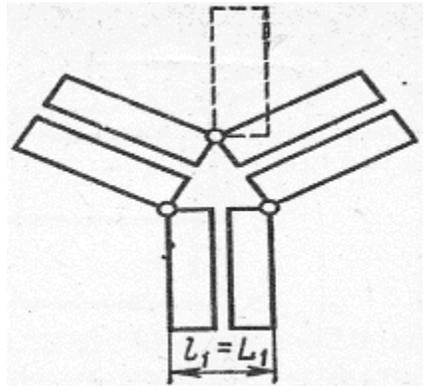
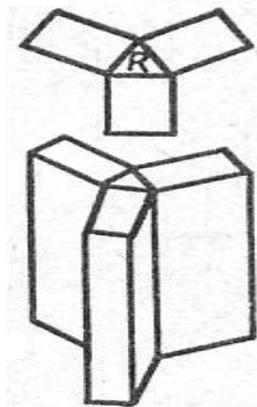
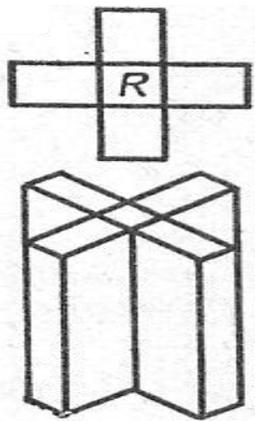
ОТКИДНАЯ ПАНЕЛЬ

- 1 – субблоки;
- 2 – разъемы;
- 3 – основание панели;
- 4 – гибкий кабель

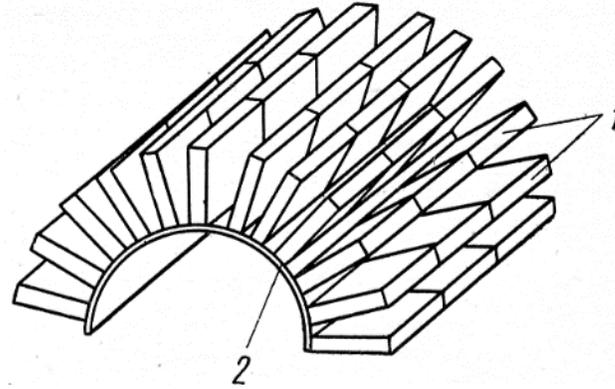
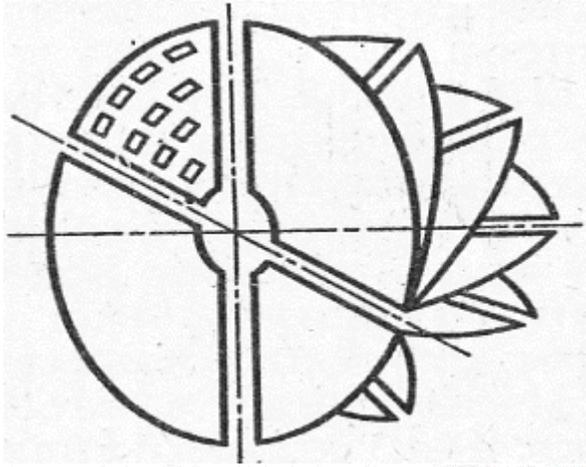


СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИНИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ ЛИНИЙ СВЯЗИ МЕЖДУ КМ

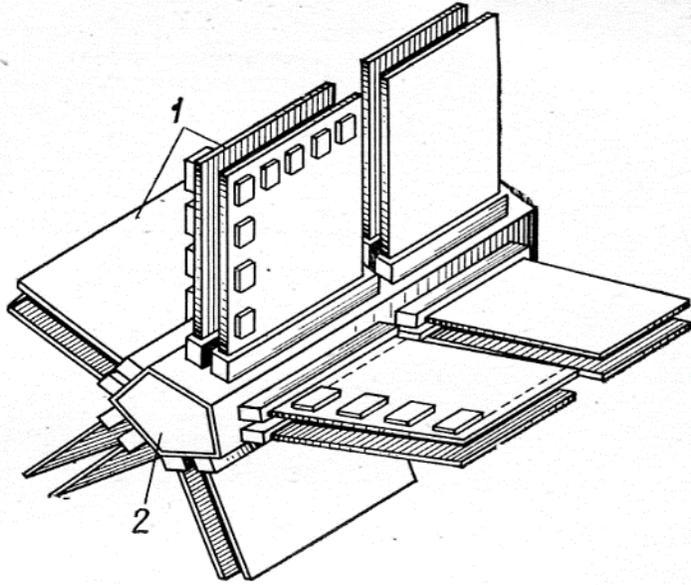
Если длины линии связи между КМ являются критическими, а компоновочная схема не определяет форму КМ следующего ранга, то компоновку **МОЖНО** выполнять в объёме **прямого круглого цилиндра** (сферы, полусферы).



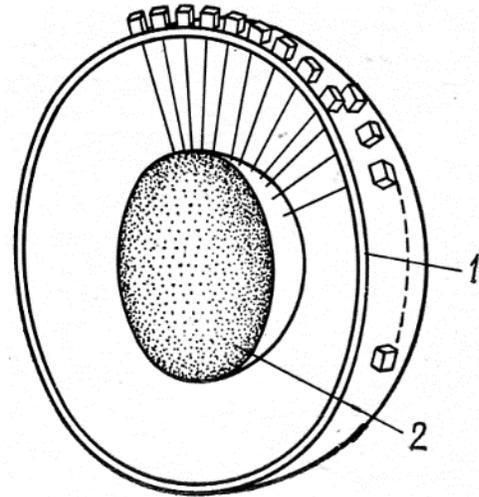
УЧЕТ ФОРМЫ КОНТЕЙНЕРА ИЛИ ОТСЕКА УСТАНОВКИ ПРИ КОМПОНОВКЕ ВТ



1 – субблоки;
2 – основание



1 – субблоки;
2 – основание



1 – основание;
2 – коммутационная полусфера

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ И ВЫБОР КОМПОНОВОЧНЫХ СХЕМ

Шаг 2.

**Определение геометрических
размеров и выбор компоновочных схем**

СОДЕРЖАТЕЛЬНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ВЫБОРА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГЕОМЕТРИИ КМ

Одна из проблем, которые решаются при разработке конструкции ВТ – **сокращение** потерь быстродействия из-за конечной скорости распространения сигналов по линиям межэлементных связей.

Общая задержка сигналов при преобразовании информации складывается из:

- задержек сигналов $t_{з.л.э}$ в логических элементах
- времени распространения сигналов $t_{з.л.с}$ в линиях связи.

Длина линии связи между наиболее удаленными участками типовой конструкции зависит от ее компоновочной схемы.

В связи с этим возникает задача выбора такой пространственной геометрии КМ, которая при данном его объеме обеспечивала бы **минимальную длину линии связи**.

2 ЭТАПЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГЕОМЕТРИИ И КОМПОНОВОЧНЫХ СХЕМ

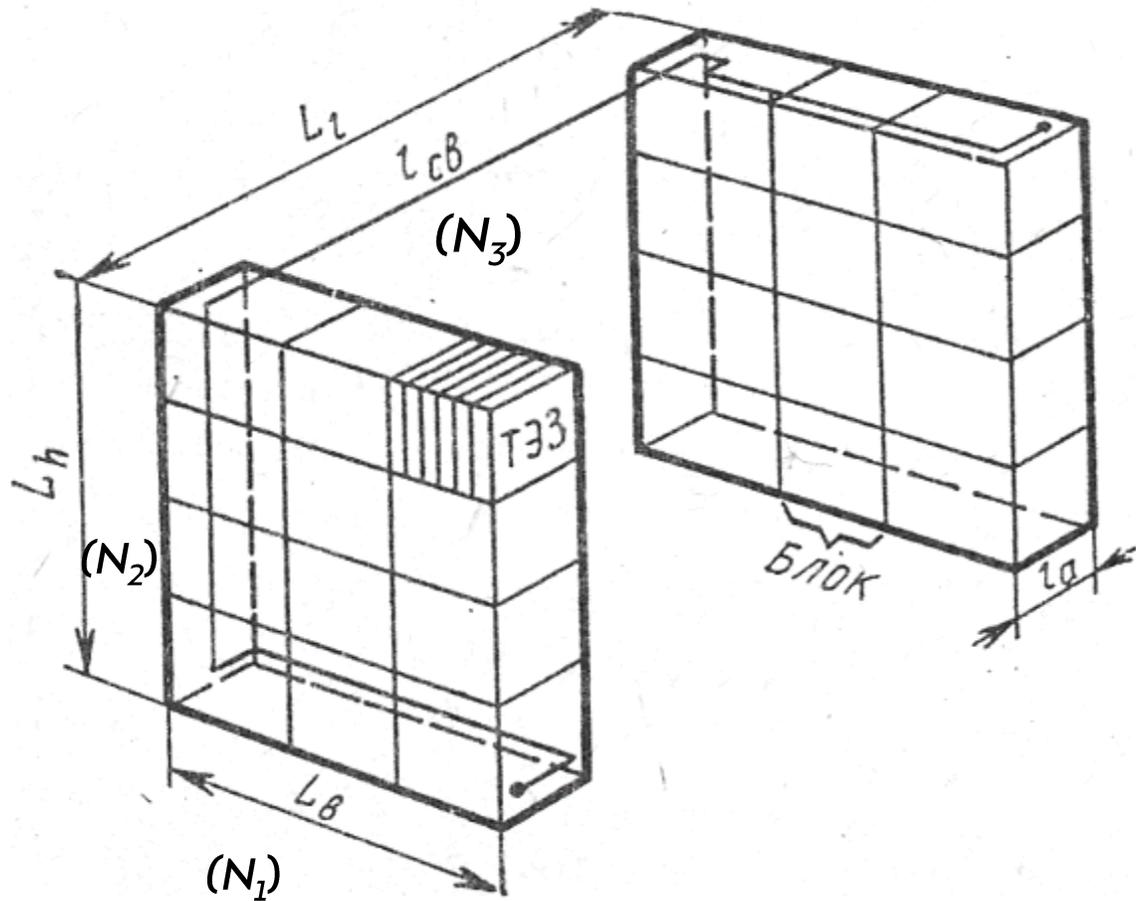
Последовательность решения задачи:

- выбрать критерий **оптимизации**;
- разработать **модель**;
- выявить **влияющие факторы**, т.е. варьируемые параметры;
- определить **ограничения**;
- найти **зависимость** целевой функции от варьируемых параметров;
- получить формальную постановку задачи;
- выбрать **метод решения** и реализовать его, выполняя необходимые преобразования.

Критерий – минимум длины линии связи между двумя наиболее удаленными точками конструктивного модуля.

2.1 ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ГЕОМЕТРИЯ МНОГОГРАМНОЙ СТОЙКИ

Остаётся для **самостоятельной**
проработки



L_b – суммарная длина блоков;
 L_h – высота стойки;
 L_l – ширина стойки;
 l_a – часть линии связи,
 проходящая внутри блока
 в направлении,
 совпадающем с L_l

Найти L_b, L_h, L_l , при которых достигается

$$\min l_{CB} = 2 \cdot L_b + L_h + L_l + 2l_a$$

при ограничениях: $V = L_b \cdot L_h \cdot L_l$,
 $L_b, L_h, L_l > 0$.

Степень трудности: $K = K_1 - K_2 - 1$,

где K_1 – число членов уравнения;

K_2 – число переменных.

$$K_1 = |\{2L_b, L_h, L_l, 2l_a, L_b \cdot L_h \cdot L_l\}| = 5,$$

$$K_2 = |\{L_b, L_h, L_l\}| = 3,$$

$$K = 5 - 3 - 1 = 1.$$

Положив $2l_a = kL_l$,

где k – коэффициент, зависящий от количества рам и их конструктивного обрамления, получаем:

$$\min l_{CB} = 2 \cdot L_b + L_h + L_l \cdot (1 + k)$$

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГЕОМЕТРИИ

Возможные методы решения:

- поиск экстремумов функции;
- использование методов теории геометрического программирования – совокупность методов решения комбинаторных задач непрерывной оптимизации.

Стандартная формулировка задачи геометрического программирования:

$$\text{Найти } \min g_0 = \sum_{i=1}^n U_i \text{ при } g_1 = f(t_j), U_i = C_i \cdot t_j^{a_{ij}},$$

где t_j – варьируемые параметры, $t_j > 0, C_i > 0$,

U_i – полином с положительными коэффициентами,

$j = \overline{1, m}, a_{ij}$ – произвольные вещественные числа

На основании теории двойственности минимум суммы g_0 сводится к максимуму двойственной функции v_0 .

Например, для $\min g_0 = U_1 + U_2 + U_3$ при $g_1 = U_4 = 1$:

$$n = 3, \min g_0 = v_0^* = \left(\frac{C_1}{\delta_1}\right)^{\delta_1} \cdot \left(\frac{C_2}{\delta_2}\right)^{\delta_2} \cdot \left(\frac{C_3}{\delta_3}\right)^{\delta_3} \cdot C_4^{\delta_4}, \quad (1)$$

где v_0^* – оптимальное решение (максимум двойственной функции).

Далее составляется система:

условие нормализации:

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 1$$

условия ортогональности:

$$\begin{cases} \delta_1 + \delta_4 = 0, \\ \delta_2 + \delta_4 = 0, \\ \delta_3 + \delta_4 = 0; \end{cases}$$

$$\begin{cases} \min g_0 = \sum_{i=1}^n U_i, \\ g_1 = f(U_i) = 1; \end{cases}$$

$$g_0 = l_{CB} \rightarrow \min g_0 = C_1 \cdot L_b + C_2 \cdot L_h + C_3 \cdot L_l$$

$$g_1 = L_b \cdot L_h \cdot L_l \rightarrow g_1 = C_4 \cdot L_b \cdot L_h \cdot L_l = 1$$

Отсюда следует, что

$$C_1 = 2, C_2 = 1, C_3 = 1 + k, C_4 = \frac{1}{V}, \delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \frac{1}{3}, \delta_4 = -\frac{1}{3}$$

Подставим эти значения в (1) и получим:

$$g_0^* = [l_{св}]_{min} = 3 \cdot \sqrt[3]{2 \cdot V \cdot (1 + k)}.$$

При этом

$$t_{зад.min} = [l_{св}]_{min} \cdot \tau_{зад.распр}.$$

Оптимальное соотношение L_b, L_h, L_l позволяет найти следующее положение теории геометрического программирования:

в точке оптимума целевой функции коэффициенты δ_i показывают вклад составляющих параметров в её оптимальное значение:

$$U_i = g_0^* \times \delta_i. \quad (2)$$

Значит $\frac{U_i}{U_j} = \frac{\delta_i}{\delta_j}$,

При этом $U_1 = 2L_b, U_2 = L_h, U_3 = L_l(1 + k)$.

В результате получаем:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{2L_b}{L_h} = 1; L_b : L_h = 1 : 2 \Rightarrow L_b : L_h : L_l = 1 : 2 : \left[\frac{2}{1 + l} \right].$$

107

При известном значении l_{CB} значения L_b, L_h, L_l на основании (2)

вычисляются как:

$$L_b = \frac{L_{CB}}{6}, L_h = \frac{L_{CB}}{3}, L_l = \frac{L_{CB}}{3(1 + k)}.$$

ДВА ПОДХОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГЕОМЕТРИИ КМ

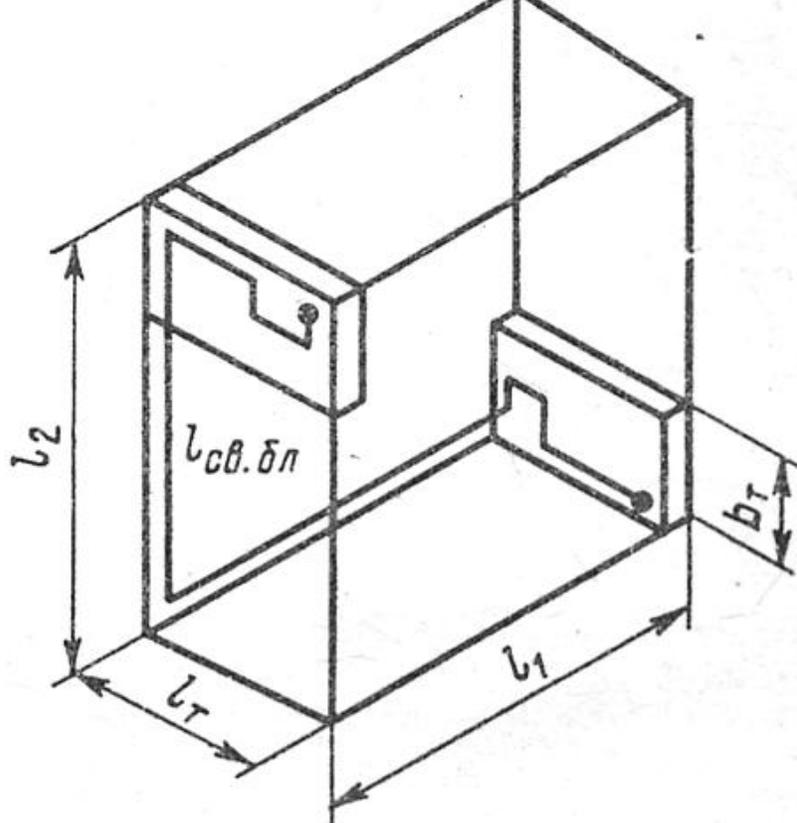
В практике проектирования ВТ возможны два варианта расчета размеров КМ с использованием полученных аналитических зависимостей:

- задано **количество микросхем**, определены элементная база, коэффициент объемного заполнения и погонная задержка распространения сигнала.
 - необходимо обеспечить минимальную задержку сигнала между двумя максимально удаленными точками.
- заданы **максимально допустимая задержка сигнала** в линиях СВЯЗИ.
 - необходимо рассчитать оптимальные геометрические размеры.

2.2 ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ГЕОМЕТРИЯ БЛОКА

Шаг 2.2

Пространственная геометрия блока



$$l_{\text{св.бл}} = l_1 + l_2 + k_{\text{Тр}} + l_T$$

где $k_{\text{Тр}}$ - коэффициент, учитывающий качество трассировки (при отсутствии ограничений на длину связей в ТЭЗ $k_{\text{Тр}} \leq 4$)

Целевая функция:

$$\min g_0 = \min(l_1 + l_2 + k_{\text{Тр}}l_T)$$

При ограничении $g_1 = l_1 l_2 l_T / V_{\text{бл}}$

Откуда минимальная длина линии связи блока:

$$l_{\text{св.бл.}min} = 3 \sqrt[3]{V_{\text{бл}} k_{\text{Тр}}}$$

Оптимальное соотношение геометрических размеров блока:

$$l_1 : l_2 : l_T = 1 : 1 : 1/k_{\text{Тр}}$$

При заданном значении длины линии связи:

$$l_1 = l_2 = \frac{l_{\text{св}}}{3}; l_T = \frac{l_{\text{св}}}{3k_{\text{Тр}}}$$

ПРИМЕР РАСЧЕТА МНОГОРАМНОЙ СТОЙКИ

Исходные данные: $N = 80\,000$; $V_0 = 0,48 \text{ см}^3$; $k_v = 0,06$;

$\tau_{з.р.} = 5,5 \text{ нс/м}$.

Решение:

Объём устройства:

$$V = \frac{NV_0}{k_v} = 64 \cdot 10^4 \text{ (см}^3\text{)}.$$

При $k = 0$ длина линии связи:

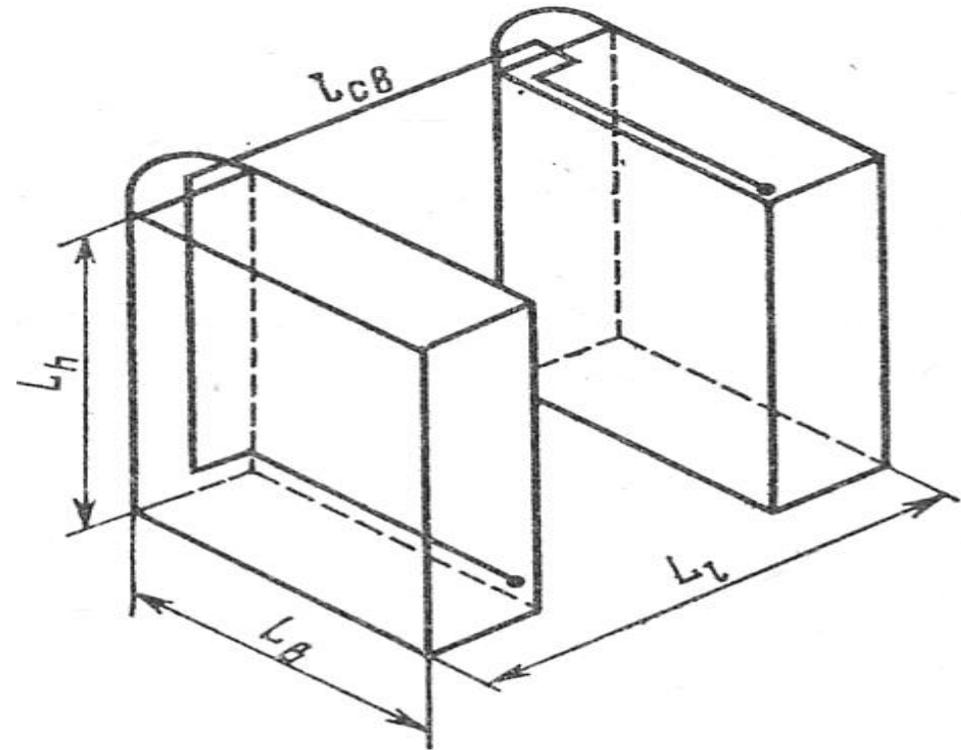
$$l_{св.min} = \sqrt[3]{54V} = 325 \text{ (см)}.$$

Минимальная задержка распространения сигнала:

$$t_{з.л.с.min} = l_{св.min} \cdot \tau_{з.р.} = 3,25 \cdot 5,5 = 18 \text{ (нс)}$$

Оценка «снизу» геометрических размеров стойки:

$$L_b = \frac{325}{6} = 54 \text{ (см)}; L_h = L_l = \frac{325}{3} = 108 \text{ (см)}.$$



ПРИМЕР РАСЧЕТА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГЕОМЕТРИЯ БЛОКА

Исходные данные:

- Длительность такта синхронизации: $T_c = 40$ нс
- Задержка сигнала между наиболее удаленными точками не более $0,18 \cdot T_c$

Решение:

Допустимая задержка сигнала в линии связи:

$$t_{\text{з.л.с.доп.}} = 0,18 \cdot T_c = 7,2 \text{ (нс)}.$$

Считая, что внутриблочные связи выполнены печатными проводниками на многослойной печатной плате, примем $\tau_{\text{з.р}} = 8 \text{ (нс/м)}$

Тогда допустимая длина линии связи: $l_{\text{св.доп}} = t_{\text{з.л.с.доп.}} / \tau_{\text{з.р}} = 0,9 \text{ (м)}$

Размеры основания панели: $l_1 = l_2 = l_{\text{св.доп}} / 3 = 0,9/3 = 0,3 \text{ (м)}$

Пусть $k_{\text{Тр}} = 2$, тогда длина ТЭЗ: $l_1 = l_{\text{св.доп}} / 6 = 0,9/6 = 0,15 \text{ (м)}$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИОННОЙ СХЕМЫ БЛОКА

Количество рядов субблоков по горизонтали определяется:

- размером l_1 блока;
- толщиной субблока;
- величиной необходимого зазора между субблоками.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОМПОНОВОЧНОЙ СХЕМЫ БЛОКА

Количество рядов субблоков по вертикали N_B зависит от

коэффициента трассировки и отношения $\frac{l_T}{b_T}$, значения которого

устанавливаются отраслевыми стандартами (ОСТ).

$$\frac{l_T}{b_T} = \{1: 1, 3: 2, 2: 1, \dots\}.$$

$$N_B = \frac{l_1}{b_T} = \frac{l_T}{b_T} \cdot K_{Tp}.$$

$$K_{Tp} = 2 \rightarrow \begin{array}{l} 1. \frac{l_t}{b_T} = 1, N_B = 2. \\ 2. \frac{l_T}{b_T} = \frac{3}{2}, N_B = 3. \end{array}$$

2.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОМПОНОВОЧНОЙ СХЕМЫ СТОЙКИ

Шаг 2.3

Определение оптимальной компоновочной схемы стойки

Сокращение количества уровней КМ в конструкции ВТ и количества рядов КМ приводит к уменьшению длины линии связи между наиболее удаленными точками КМ и, следовательно, к минимизации потерь быстродействия из-за задержки сигнала в линиях связи.

$$l_{св.min} = 3\sqrt{2V(1+k)} \text{ – многорамная стойка;}$$

$$l_{св.min} = 3\sqrt[3]{V} \text{ – однорамная стойка;}$$

Однако при определенной степени интеграции элементной базы и количества ИМС в реализуемой схеме может потребоваться использование **многорамных компоновочных схем** (многорамных стоек).

В рассмотренном выше примере $L = 1080$ мм. Для однорамной стойки – это **длина субблока**, но по требованиям ГОСТ $l_T \leq 470$ мм.

Оптимальное соотношение $N_1:N_2:N_3$ получим из формулы

$$L_b: L_h: L_l = 1:2:\left[\frac{2}{1+k}\right],$$

где N_1 , N_2 и N_3 – количество вертикальных и горизонтальных рядов блоков в раме и рам в стойке.

Положив $k = 0$, получим

$$N_1 \cdot l_1 : N_2 \cdot l_1 : N_3 \cdot l_a = 1 : 2 : 2,$$

где $l_a = K_1 \cdot l_T$, $K_1 > 1$ – коэффициент, учитывающий конструктивное обрамление.

Подставив $l_T = \frac{l_1}{K_{Tp}}$, получим:

$$N_1 : N_2 : N_3 = 1 : 2 : 2 \cdot \frac{K_{Tp}}{K_1},$$

При $K_1 = 1$ и $K_{Tp} = 2$: $N_1 : N_2 : N_3 = 1 : 2 : 4$.

Однако следует учитывать, что $K \neq 0$, а K_1 быстро растет с увеличением количества рам.

Спасибо за внимание!

