

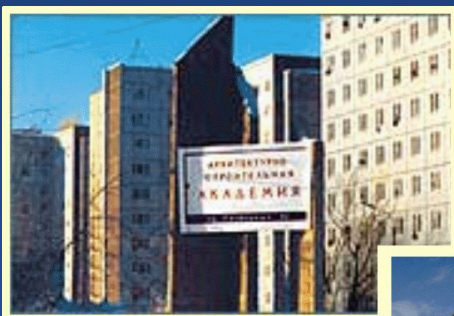
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования



«Сибирский федеральный университет»

Кафедра «Приборостроение и телекоммуникации»
Институт инженерной физики и радиоэлектроники



Красноярск, 2008

900igr.net

К. Н. Захарьин, Н. М. Егоров, А. В. Сарафанов

Компьютерные технологии в приборостроении

Красноярск, 2008

УДК 681.2:004.9

ББК 34.9

3-38

Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине «Компьютерные технологии в приборостроении» подготовлен в рамках инновационной образовательной программы «Информатизация и автоматизированные системы управления», реализованной в ФГОУ ВПО СФУ в 2007 г.

Рецензенты:

Красноярский краевой фонд науки;

Экспертная комиссия СФУ по подготовке учебно-методических комплексов дисциплин

Захарьин, К. Н.

3-38 Компьютерные технологии в приборостроении. Презентационные материалы. Версия 1.0 [Электронный ресурс] : наглядное пособие / К. Н. Захарьин, Н. М. Егоров, А. В. Сарафанов. – Электрон. дан. (11 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – (Компьютерные технологии в приборостроении : УМКД № 49-2007 / рук. творч. коллектива А. В. Сарафанов). – 1 электрон. опт. диск (DVD). – Систем. требования : *Intel Pentium* (или аналогичный процессор других производителей) 1 ГГц ; 512 Мб оперативной памяти ; 11 Мб свободного дискового пространства ; привод *DVD* ; операционная система *Microsoft Windows 2000 SP 4 / XP SP 2 / Vista* (32 бит) ; *Microsoft PowerPoint 2003* или выше.

ISBN 978-5-7638-0866-7 (комплекса)

ISBN 978-5-7638-0870-4 (пособия)

Номер гос. регистрации в ФГУП НТЦ «Информрегистр» 0320802720 от 19.12.2008 г. (комплекса)

Номер гос. регистрации в ФГУП НТЦ «Информрегистр» 0320802709 от 22.12.2008 г. (пособия)

Настоящее издание является частью электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Компьютерные технологии в приборостроении», включающего учебную программу, учебное пособие «Компьютерные технологии в приборостроении. Основы математического и методического обеспечения», учебное пособие «Основы применения САЛS-технологий в электронном приборостроении», учебное пособие «Автоматизация проектирования РЭС. Топологическое проектирование печатных плат», учебное пособие «Основы проектирования электронных средств: Техническое задание. Формирование и анализ», лабораторный практикум, приложение к лабораторному практикуму (демоверсия системы OrCAD, файлы проектов для системы OrCAD, варианты заданий к ряду лабораторных работ, интерактивное электронное техническое руководство к АПК УД «Тракт усиления звуковой частоты», интерактивное электронное техническое руководство к АПК УД «Электроника», демоверсия программного комплекса ТРиАНА, справочник «Интенсивности отказов ЭРЭ»), методические указания по курсовому проектированию, методические указания по самостоятельной работе, контрольно-измерительные материалы (банк тестовых заданий и перечень вопросов, выносимых на экзамен), приложение к комплексу (программа оптимизации размещения элементов на монтажном пространстве методом попарных перестановок по критерию минимума суммарной длины сигнальных связей, программа оптимизации разбиения схемы электрической на части, выполняемые на отдельных конструктивах, видеофрагмент «Резонансные явления в электронной аппаратуре»).

Представлена презентация (в виде слайдов) теоретического курса «Компьютерные технологии в приборостроении».

Предназначено для студентов направления подготовки бакалавров 200100.62 «Приборостроение» укрупненной группы 200000 «Приборостроение и оплотехника».

© Сибирский федеральный университет, 2008

Рекомендовано к изданию Инновационно-методическим управлением СФУ

Разработка и оформление электронного образовательного ресурса: Центр технологий электронного обучения информационно-аналитического департамента СФУ; лаборатория по разработке мультимедийных электронных образовательных ресурсов при КрЦНИТ

Содержимое ресурса охраняется законом об авторском праве. Несанкционированное копирование и использование данного продукта запрещается. Встречающиеся названия программного обеспечения, изделий, устройств или систем могут являться зарегистрированными товарными знаками тех или иных фирм.

Подп. к использованию 01.09.2008

Объем 11 Мб

Красноярск: СФУ, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

План презентации

1. Роль КТ в процессе создания ПС

2. Примеры результатов проектирования с применением компьютерных технологий

3. Примеры приборов и систем

4. Системный подход к построению расчетных моделей

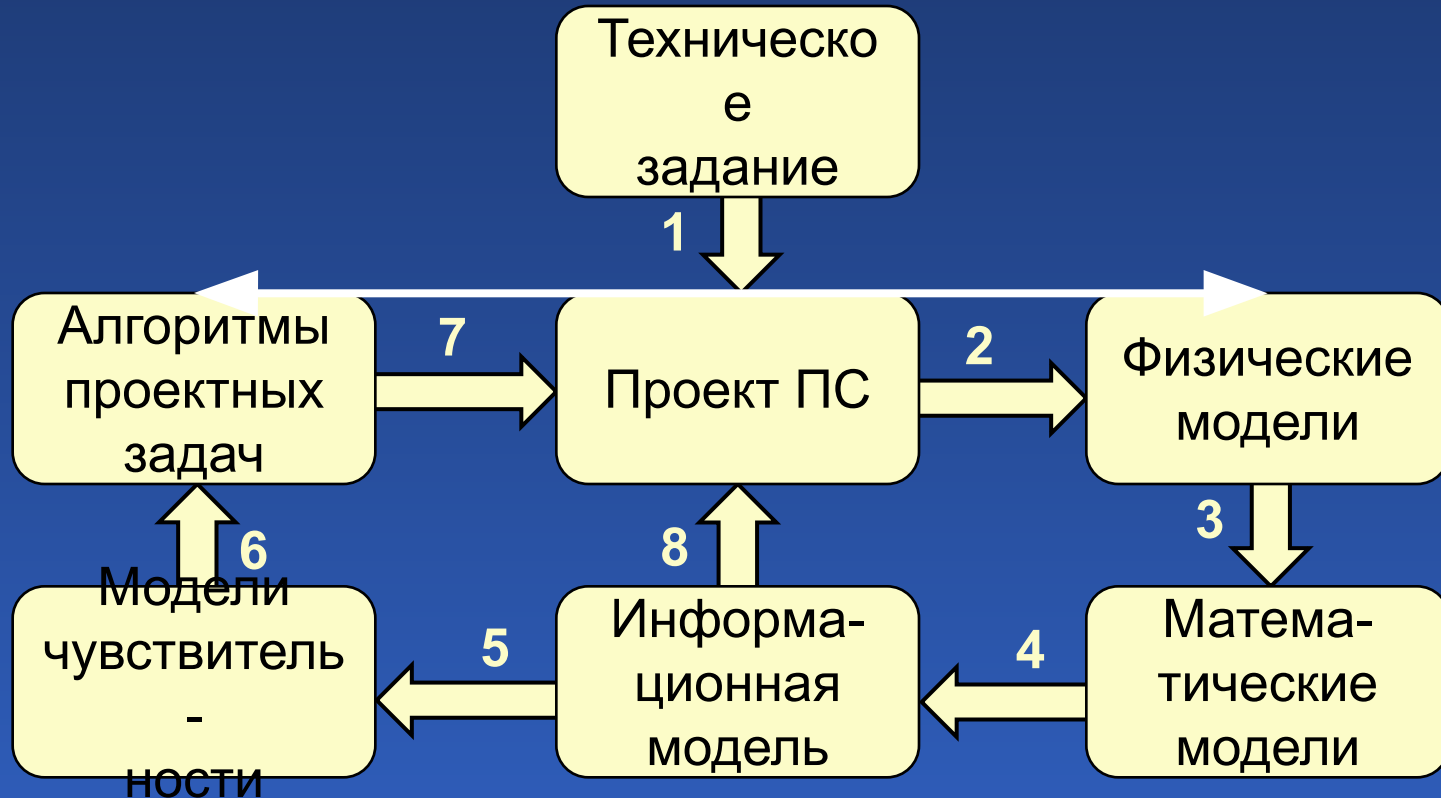
5. Расчетные модели

6. Основы математического обеспечения топологического проектирования ПС

7. Концепция CALSCALS-технологий

8. Основные параметры стандартных программных средств

Роль моделей в автоматизированном процессе разработки приборов и систем



Условная схема взаимосвязи основных проектных процедур

Информационные потоки

1. Требования технического задания к функциональным характеристикам, конструкциям и т. п.

2. Информация для формализации

3. Параметры математической модели

4. Результаты математического моделирования

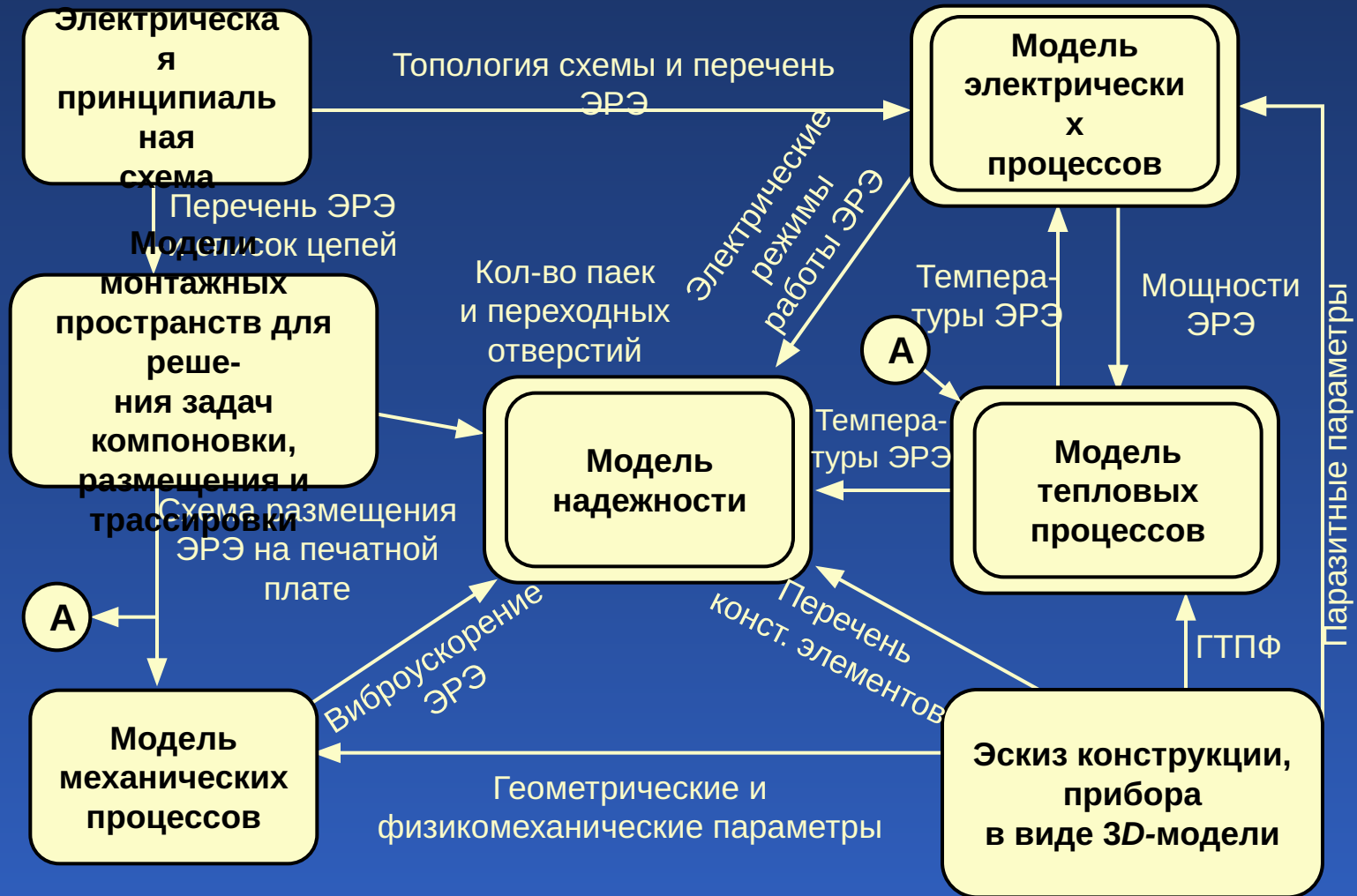
5. Исследуемые параметры

6. Выбранные параметры

7. Результаты проектных исследований

8. Параметры, определяющие различные характеристики прибора

Схема взаимосвязи математических моделей



Роль КТ в процессе создания ПС

Синтез, анализ и оптимизация в задачах проектирования приборов и систем, решаемых на основе математического моделирования физических процессов



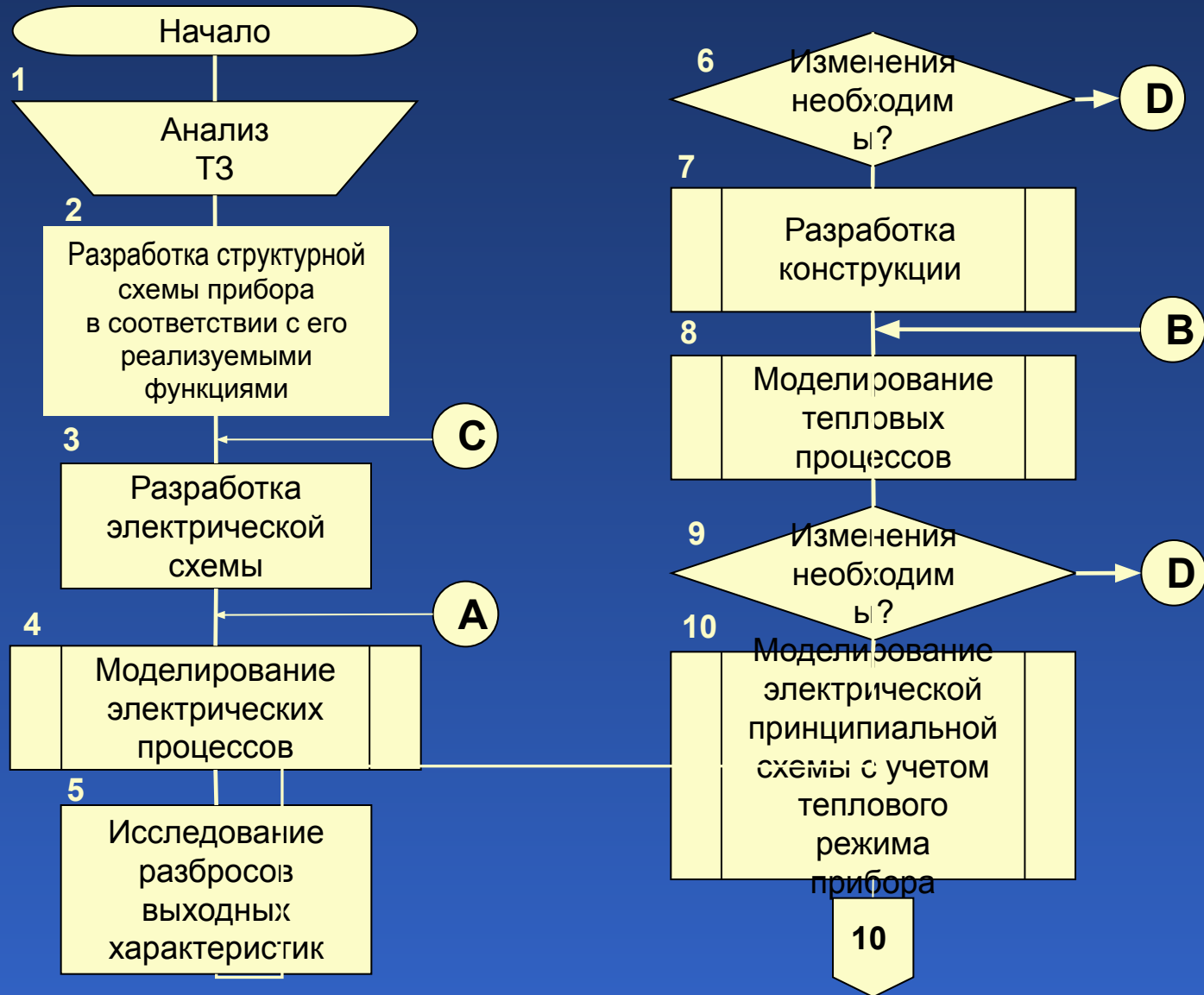
Роль КТ в процессе создания ПС

Синтез, анализ и оптимизация в задачах проектирования приборов и систем, решаемых на основе математического моделирования физических процессов



Роль КТ в процессе создания ПС

Блок-схема алгоритма обобщенной методики проектирования ПС с применением КТ



Роль КТ в процессе создания ПС

Блок-схема алгоритма обобщенной методики проектирования ПС с применением КТ

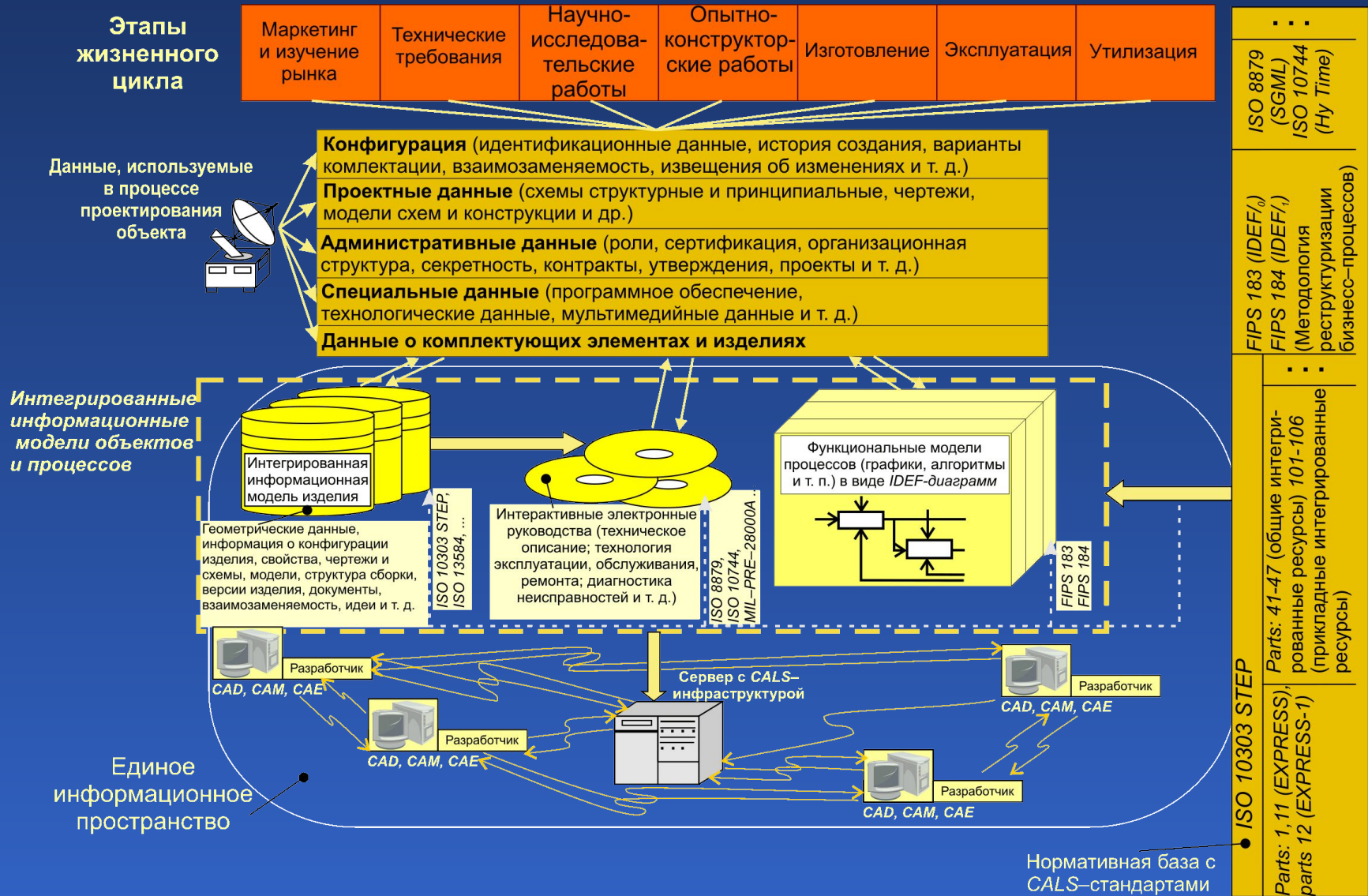


Роль КТ в процессе создания ПС

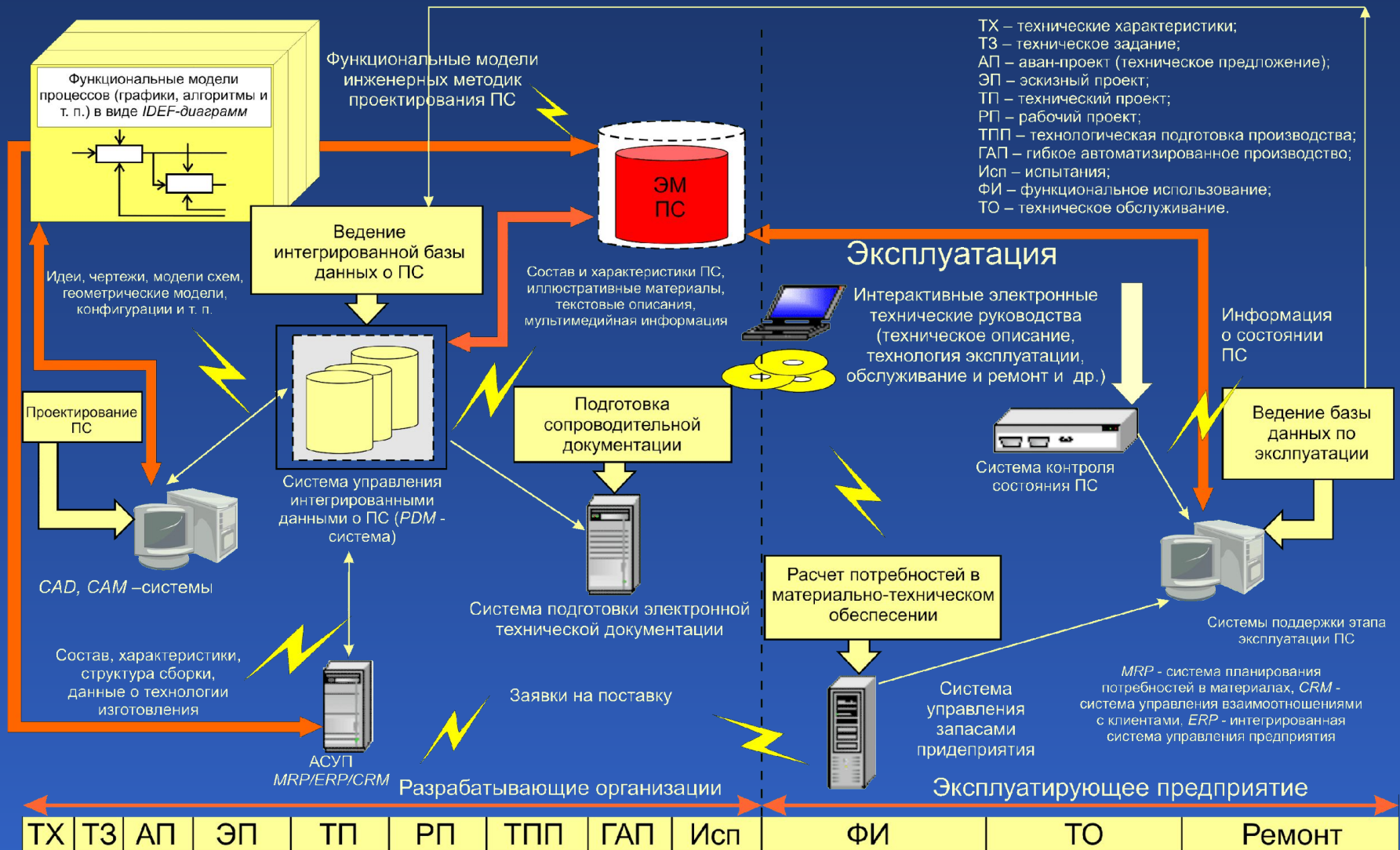
Блок-схема алгоритма обобщенной методики проектирования ПС с применением КТ



Основополагающие методологические принципы CALS-технологий



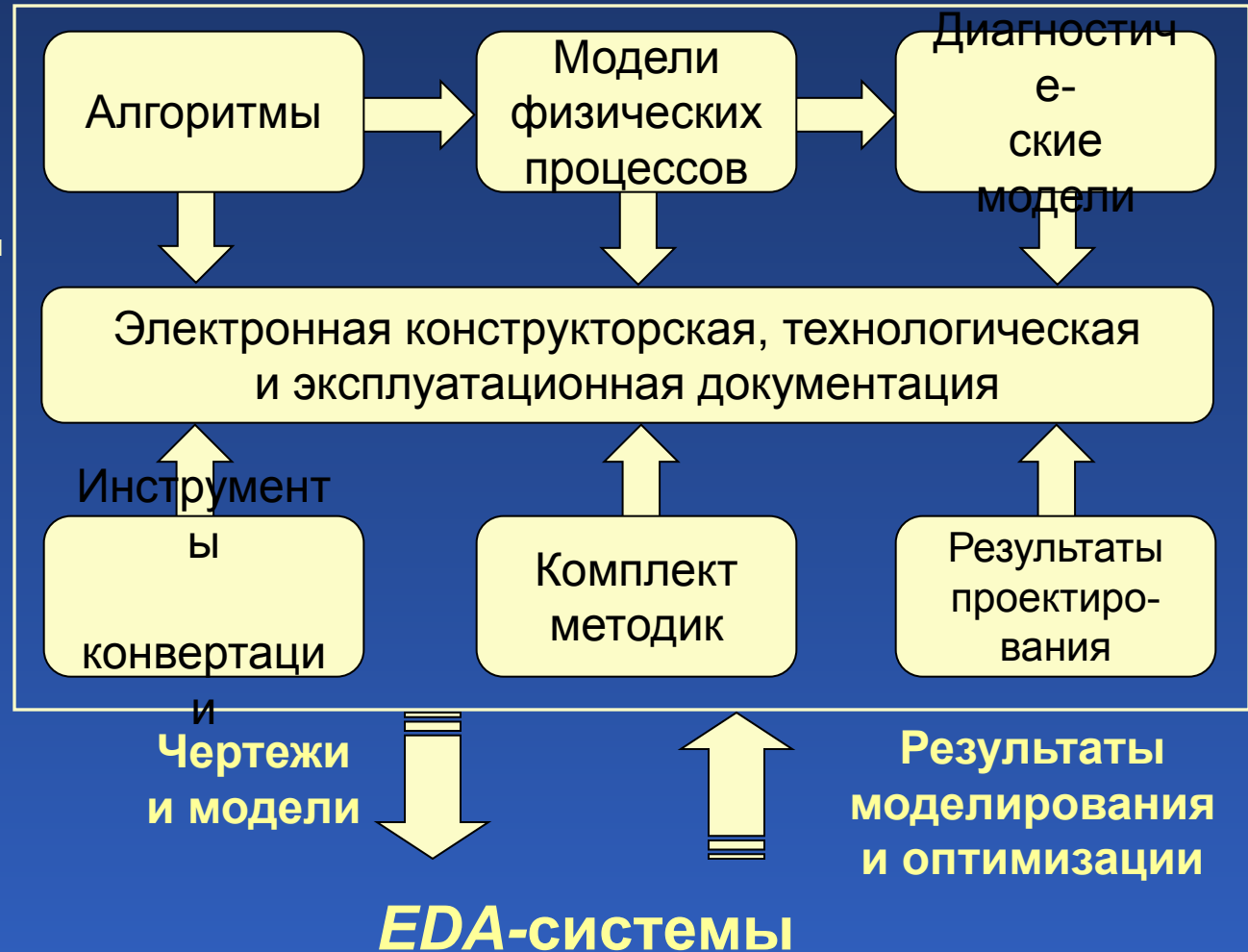
Пример технологии проектирования ПС на базе CALS-стратегии



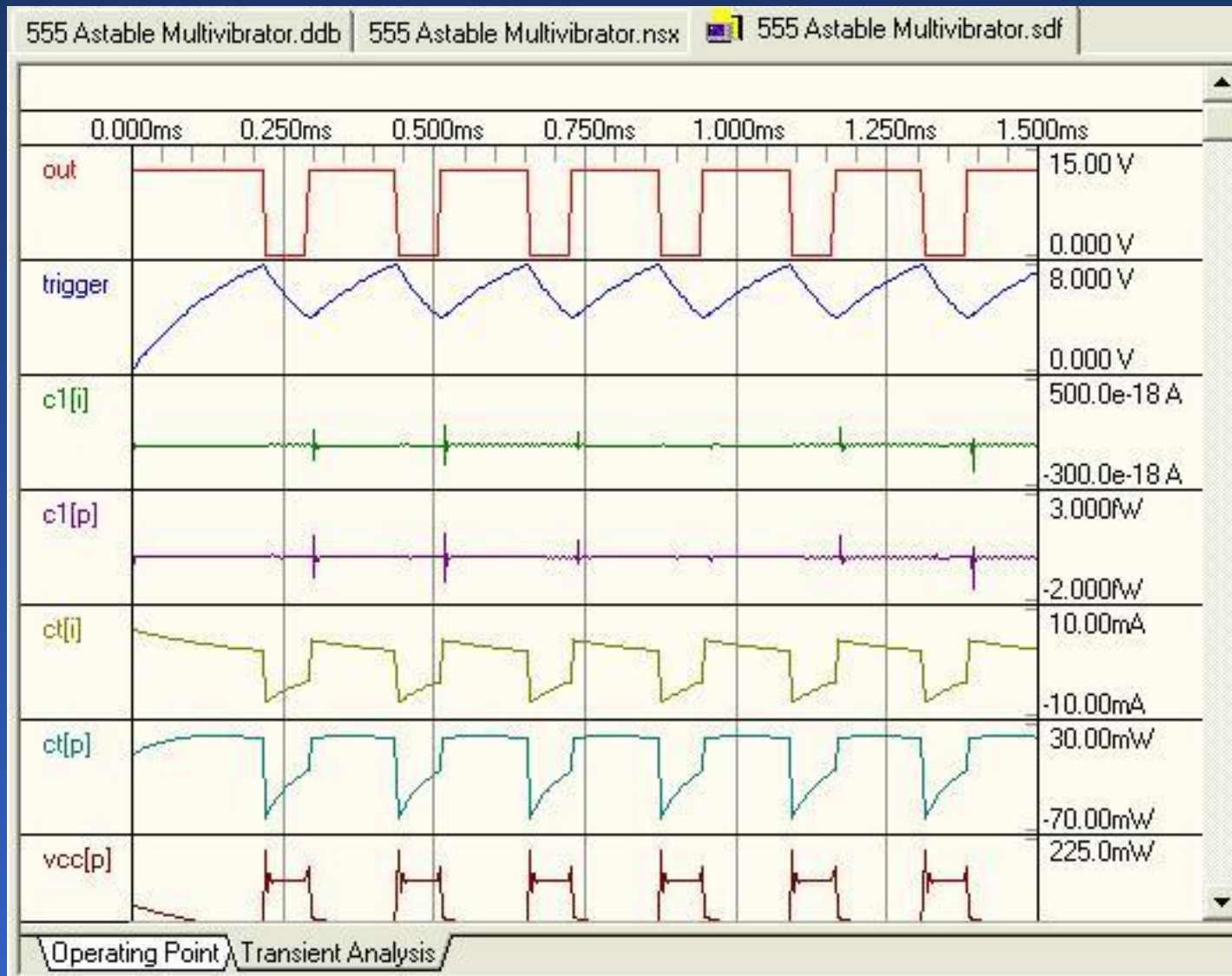
Структура электронного макета прибора

Электронный макет включает:

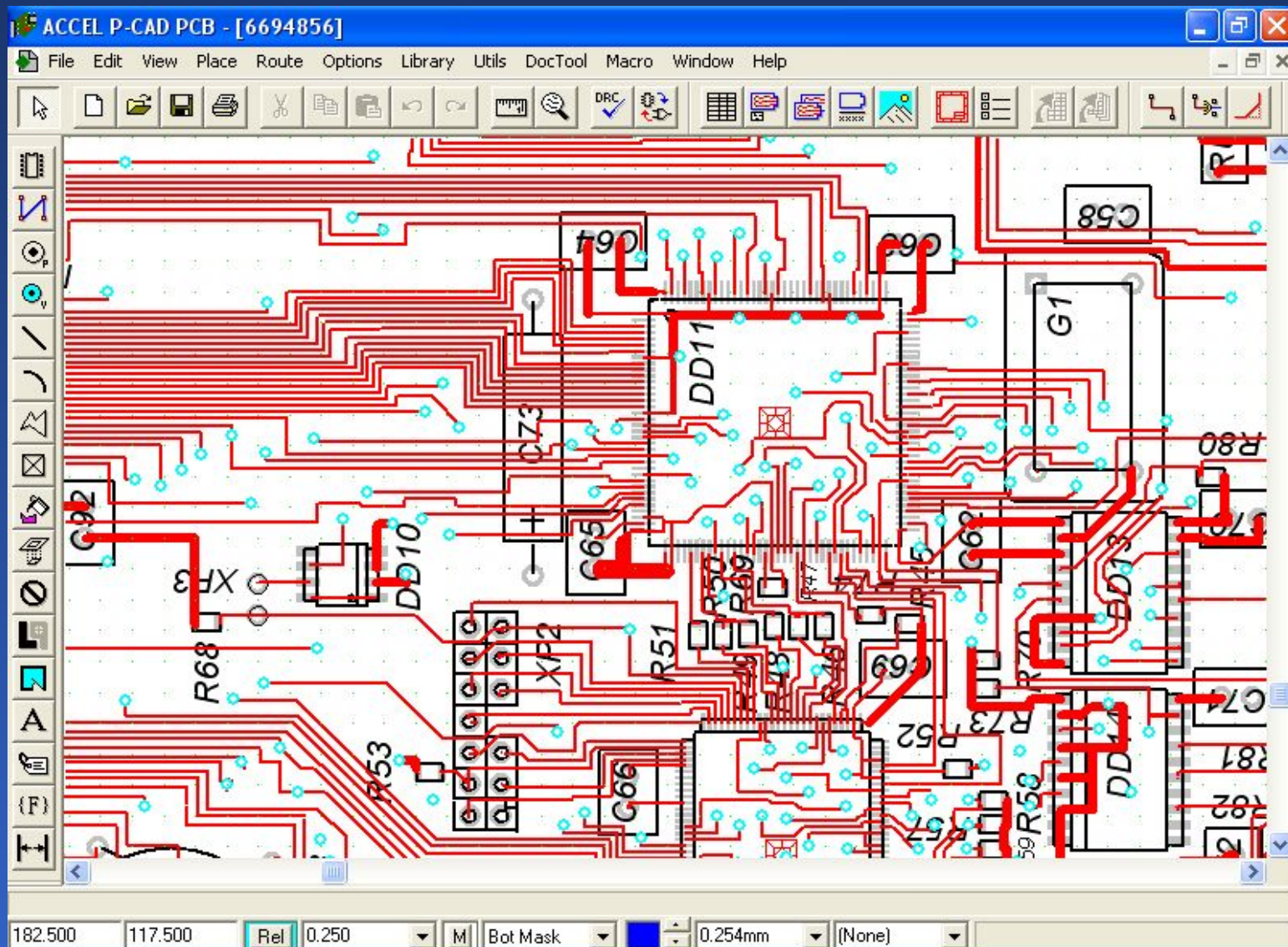
- электронную документацию для производства и эксплуатации;
- алгоритмы обработки отображения данных об объекте;
- результаты комплексного исследования выходных характеристик;
- модели физических процессов в схемах и монтажном пространстве;
- диагностические модели;
- инструменты конвертации стандарт *STEP*;
- комплект информационно-логических методик проектирования ПС в стандартах *IDEFI₀*;
- EDA-системы.



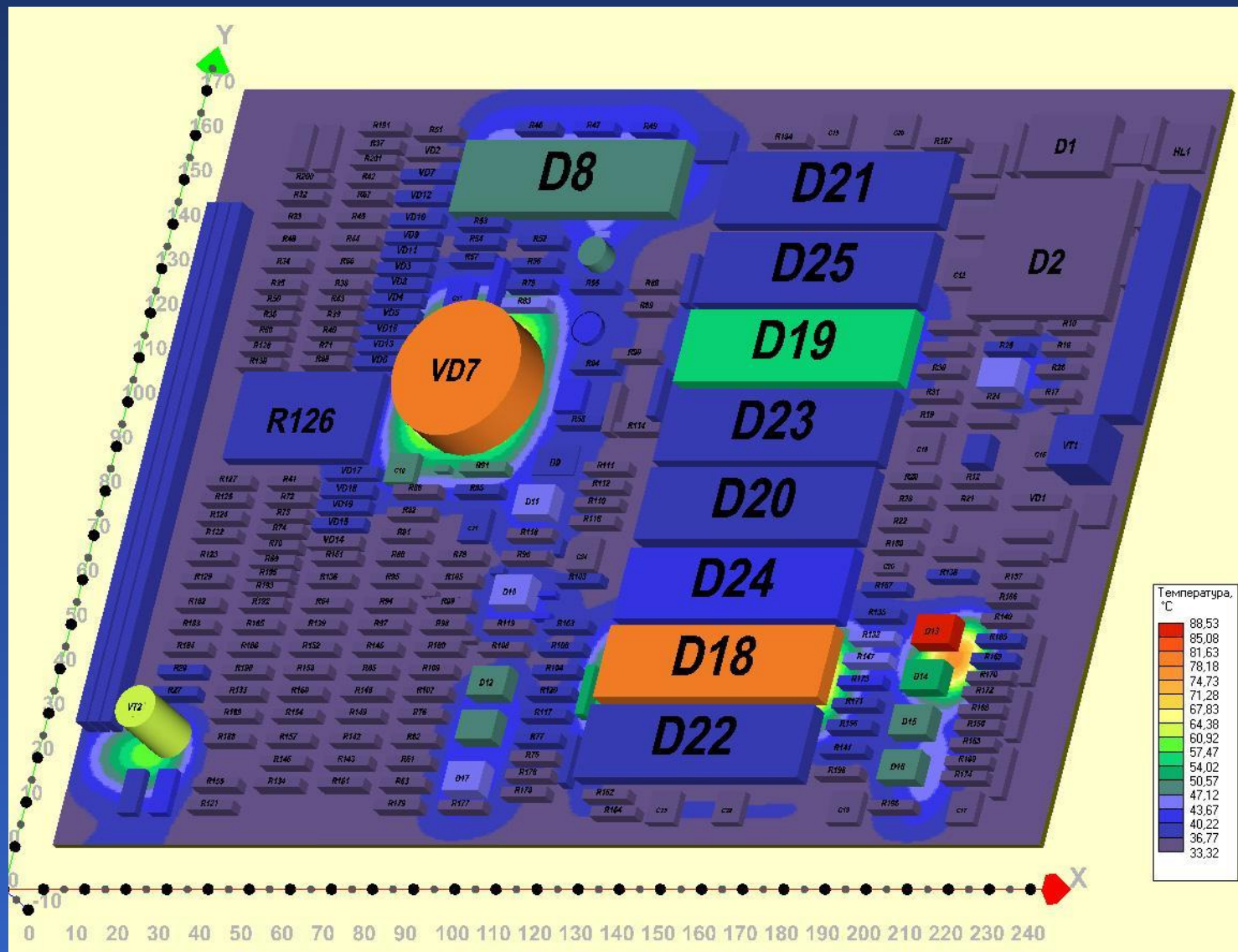
Результаты исследования электрических характеристик



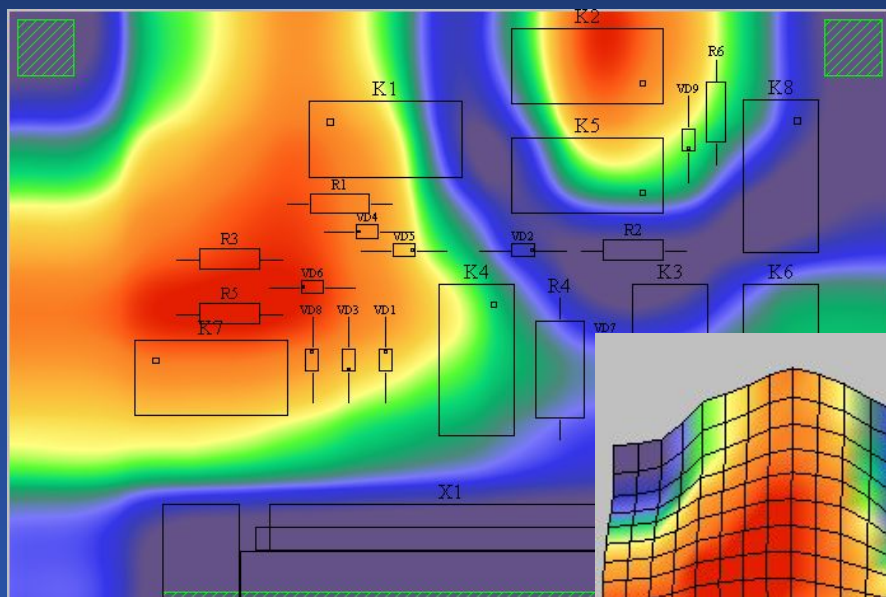
Результаты трассировки печатного монтажа



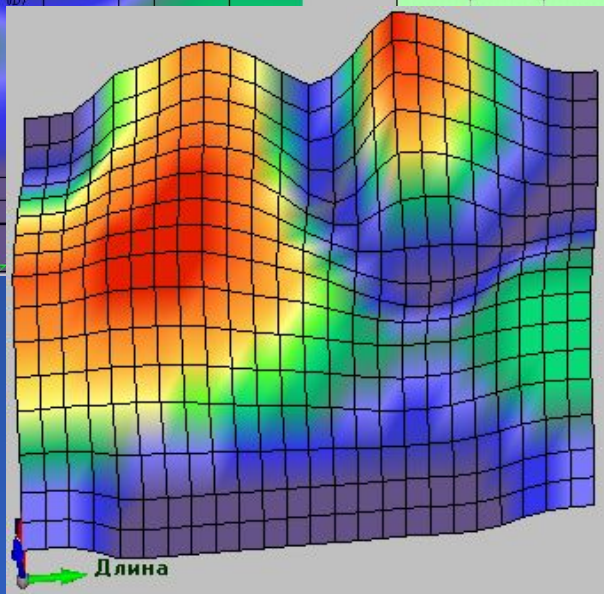
Термограмма печатного узла



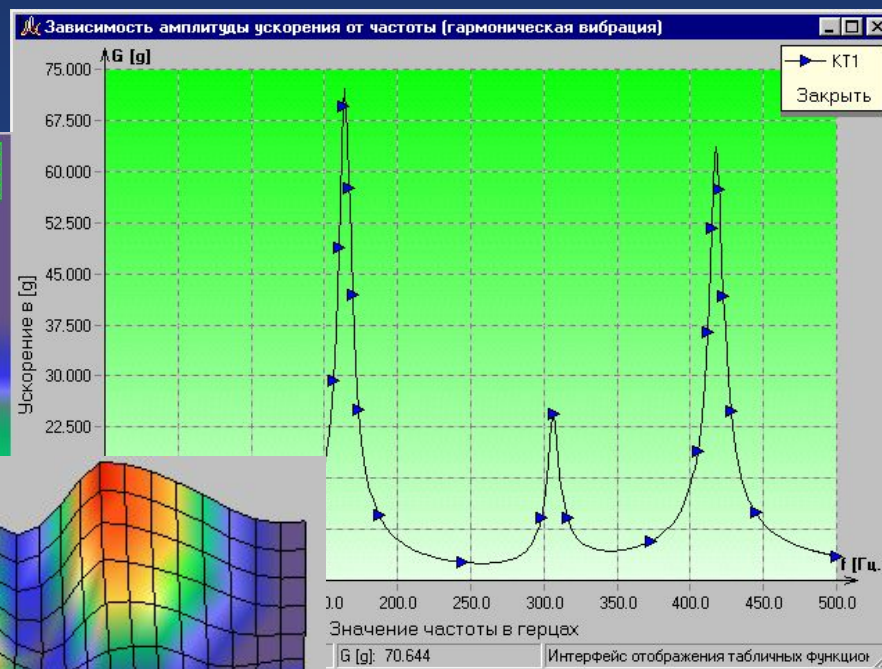
Механический режим работы печатного узла при вибрационных воздействиях



Изолинии перемещений

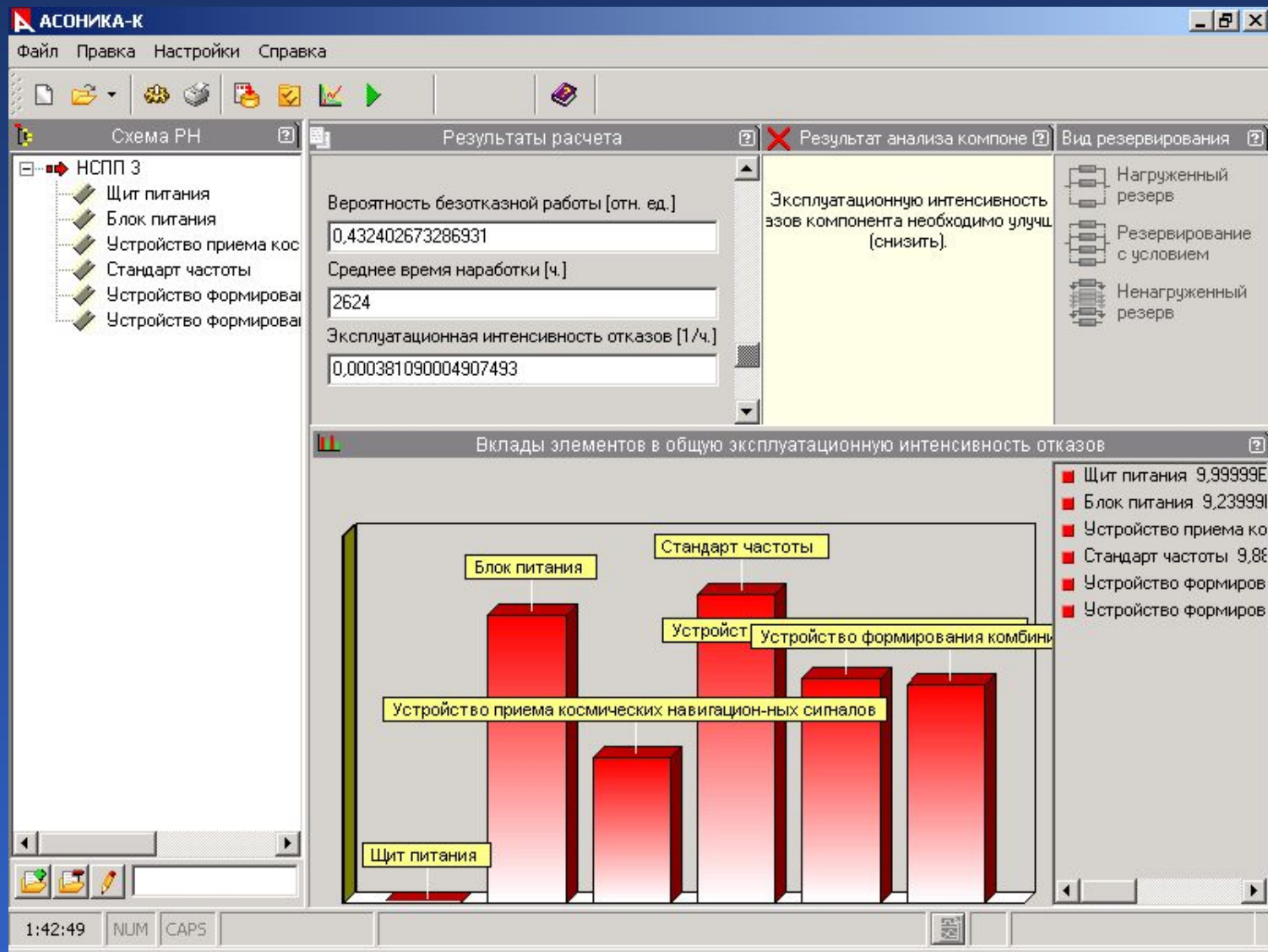


Собственная форма печатной платы

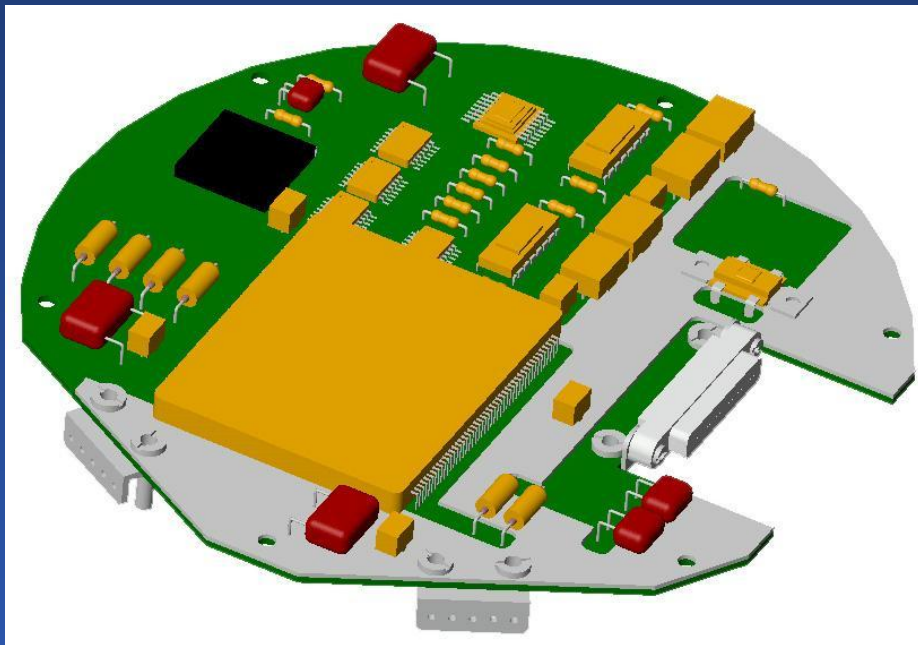


Зависимость виброускорения от частоты воздействия вибрации

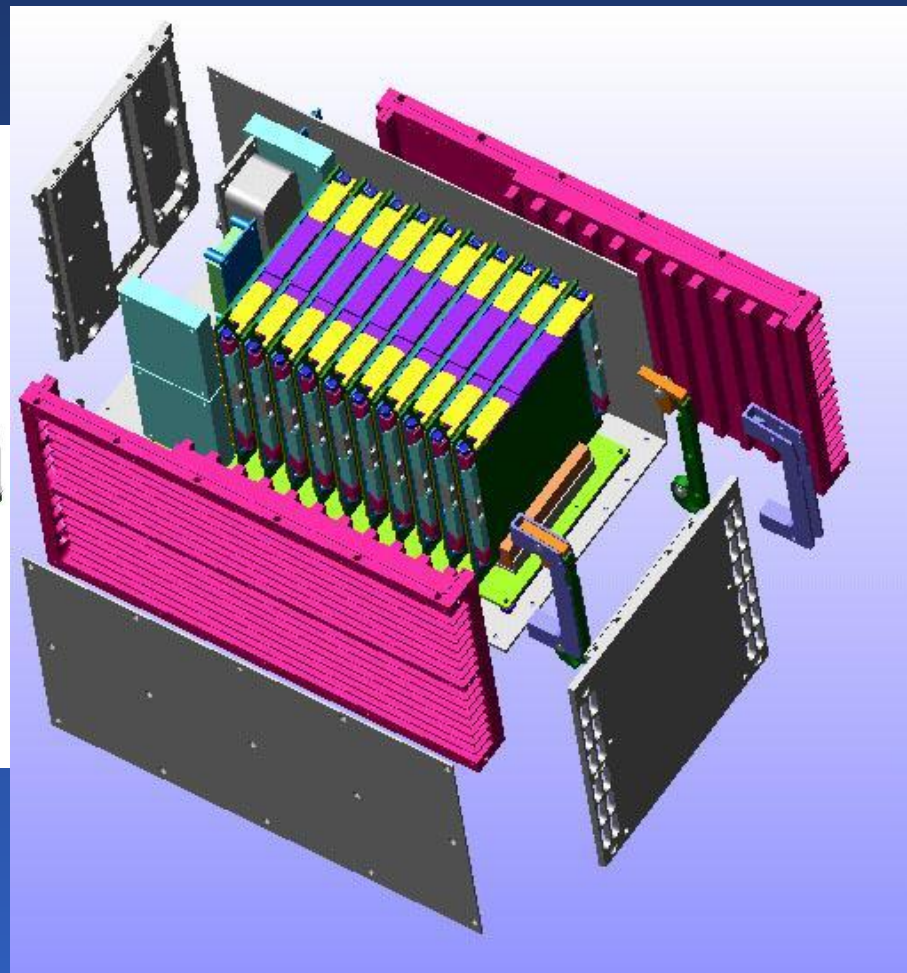
Результаты анализа безотказности



3D-модели узла и прибора в целом



3D-модель печатного узла

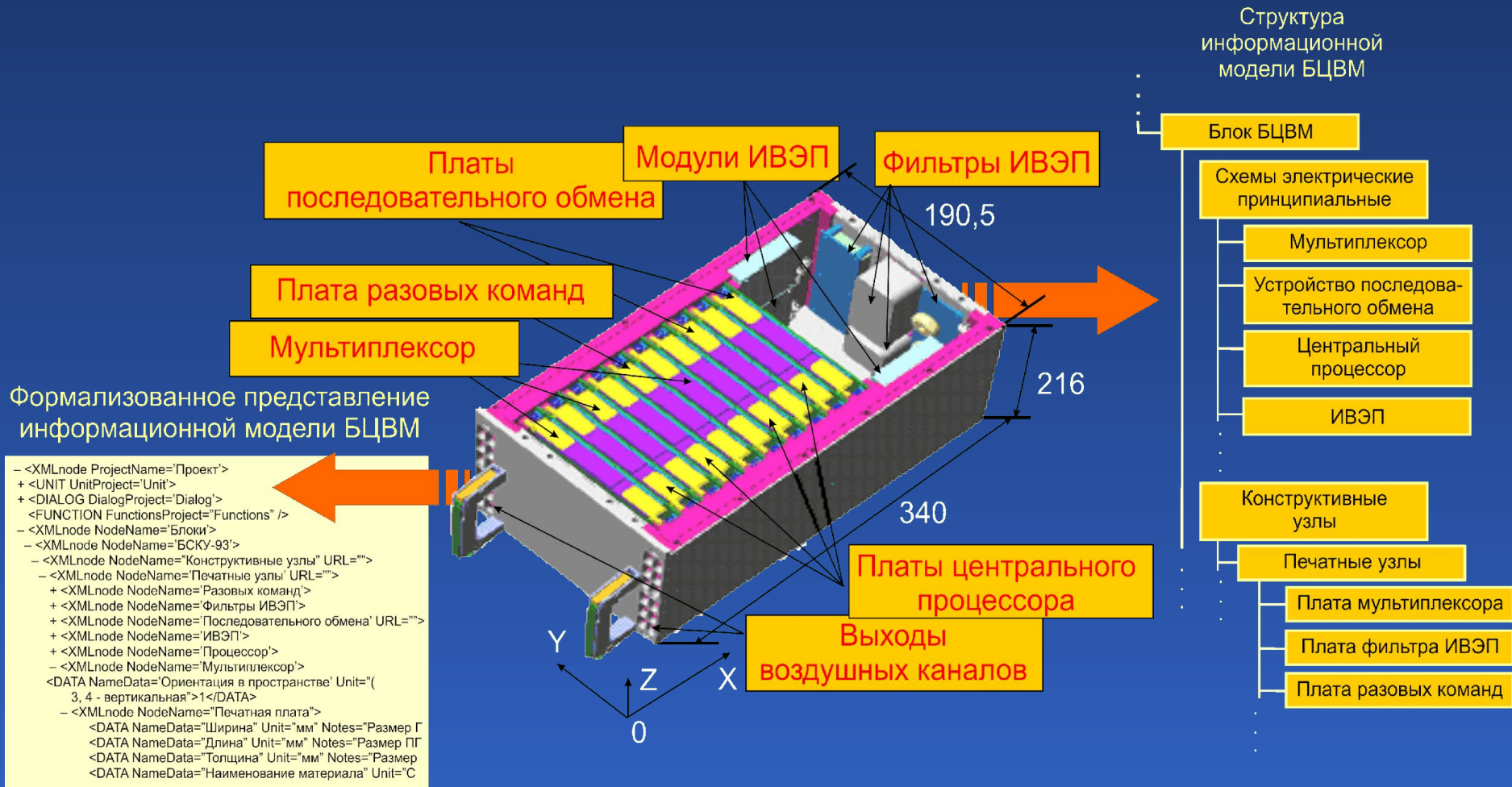


3D-модель прибора в целом

Информационная модель прибора, представленная в виде графа



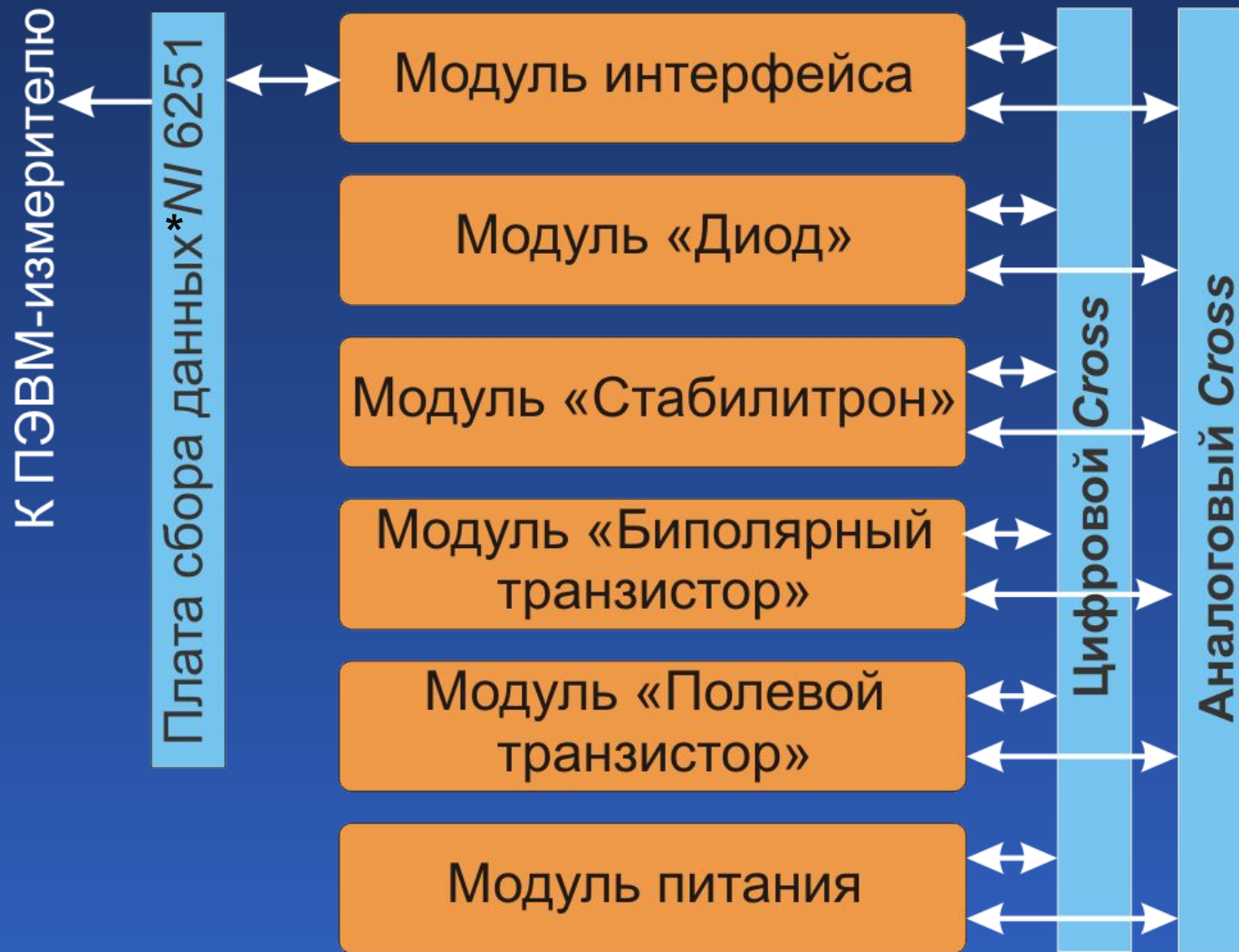
Структура информационной модели бортовой цифровой вычислительной машины



Аппаратно-программный комплекс «Электроника»



АПК «Электроника». Структурная схема



* Выполняет функции ввода-вывода измерительных, аналоговых и цифровых управляющих сигналов

АПК «Электроника».
Перечень реализуемых функций

Измерение/исследование (в ручном и автоматическом режимах по сетям *Internet/Intranet*) прямой и обратной ветвей вольт-амперных характеристик (ВАХ) диода и стабилитрона; нагрузочной характеристики и характеристик стабилизации стабилитрона; статических и динамических передаточных и выходных характеристик полевого транзистора; статических и динамических входных и выходных характеристик биполярного транзистора в схемах включения с общим эмиттером и общей базой; статического и дифференциального сопротивлений диода и стабилитрона, крутизны и выходного сопротивления полевого транзистора, h -параметров биполярного транзистора; технологического разброса ВАХ и параметров диода, стабилитрона, полевого и биполярного транзисторов

АПК «Электроника».
Перечень реализуемых функций

Исследование работы диода на переменном токе при активной и активно-емкостной нагрузке; стабилитрона в схеме параметрического стабилизатора напряжения; полевого и биполярного транзисторов на переменном токе в линейном и нелинейном режимах при различных сопротивлениях нагрузки

Возможность визуализации на ПЭВМ установки и изменения положения рабочей точки на ВАХ исследуемых полупроводниковых приборов в динамическом режиме работы

АПК «Электроника». Виртуальные стенды

Stab1.vi

Измеритель вольт-амперных характеристик и параметров полупроводниковых стабилитронов

СХЕМА ИЗМЕРЕНИЯ

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Е, В	Uст, В	Iст, мА	Iн, мА	Rст, кОм	гд, кОм
0	0	0	0	0	0

ГРАФИКИ

УСТАНОВКИ

Тип и предельные параметры стабилитрона

Тип стабилитрона: КС147А

Uст макс, В: 5,6

Iст макс, мА: 58

РЕЖИМ ИЗМЕРЕНИЯ

Ручной / Автоматический

ПАРАМЕТРЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ ВАХ

Пределы и шаг перестройки источника E

Eнач, В: -10

Eкон, В: 10

dE, В: 0,25

Предел измерения по току

Iизм lim, мА: 45

ПАРАМЕТРЫ ВЫВОДА ВАХ

Uст нач, В: -4,78

Uст кон, В: 0,75

Исследование: Ист=f(Uст), Uст=f(E), Uст=f(Iн)|Econst, гд=f(Iст), Iст=f(E), Iст=f(Iн)|Econst, Rст=f(Iст), Iн=f(E)

УПРАВЛЕНИЕ

Измерение / Сохранение / Выход

06.08.2007 14:49:45 Ожидание результатов измерения
06.08.2007 14:49:46 Результаты измерения получены

PTR1.vi

Измеритель вольт-амперных характеристик и параметров полевых транзисторов

СХЕМА ИЗМЕРЕНИЯ

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Uси, В	Uзи, В	Iс, мА	Rкан, кОм	g22, См
0	0	0	0	0

ГРАФИКИ

УСТАНОВКИ

Предельные параметры полевого транзистора

Uзи макс, В: 10

Uси макс, В: 10

Iс макс, мА: 12

Pс макс, мВт: 120

РЕЖИМ ИЗМЕРЕНИЯ

Ручной / Автоматический

ПАРАМЕТРЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ ВАХ

перестройки источников Eз, Eс

Eс кон, В: 0

dEс, В: 0,5

Iс изм lim, мА: 12

Eз кон, В: 4

dEз, В: 0,25

Принять

Параметры вывода ВАХ

Статические

Передаточные

Uси нач, В: -10

Uси кон, В: 0

Uзи нач, В: 0

Uзи кон, В: 4

dUси, В: 0,5

dUзи, В: 0,25

Соединить

Строка состояния

Eс нач, В: -10

Eс кон, В: 0

dEс, В: 0,5

Iс max lim, мА: 8,23

ВЫВОДИМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Iс=f(Eз)|Eс

Iс=f(Eс)|Eз

Передаточные

Выходные

Динамические

Статические

УПРАВЛЕНИЕ

Измерение / Сохранение / Выход

06.08.2007 14:49:45 Ожидание результатов измерения
06.08.2007 14:49:46 Результаты измерения получены

Лицевая панель виртуального лабораторного стенда по измерению характеристик и параметров стабилитрона

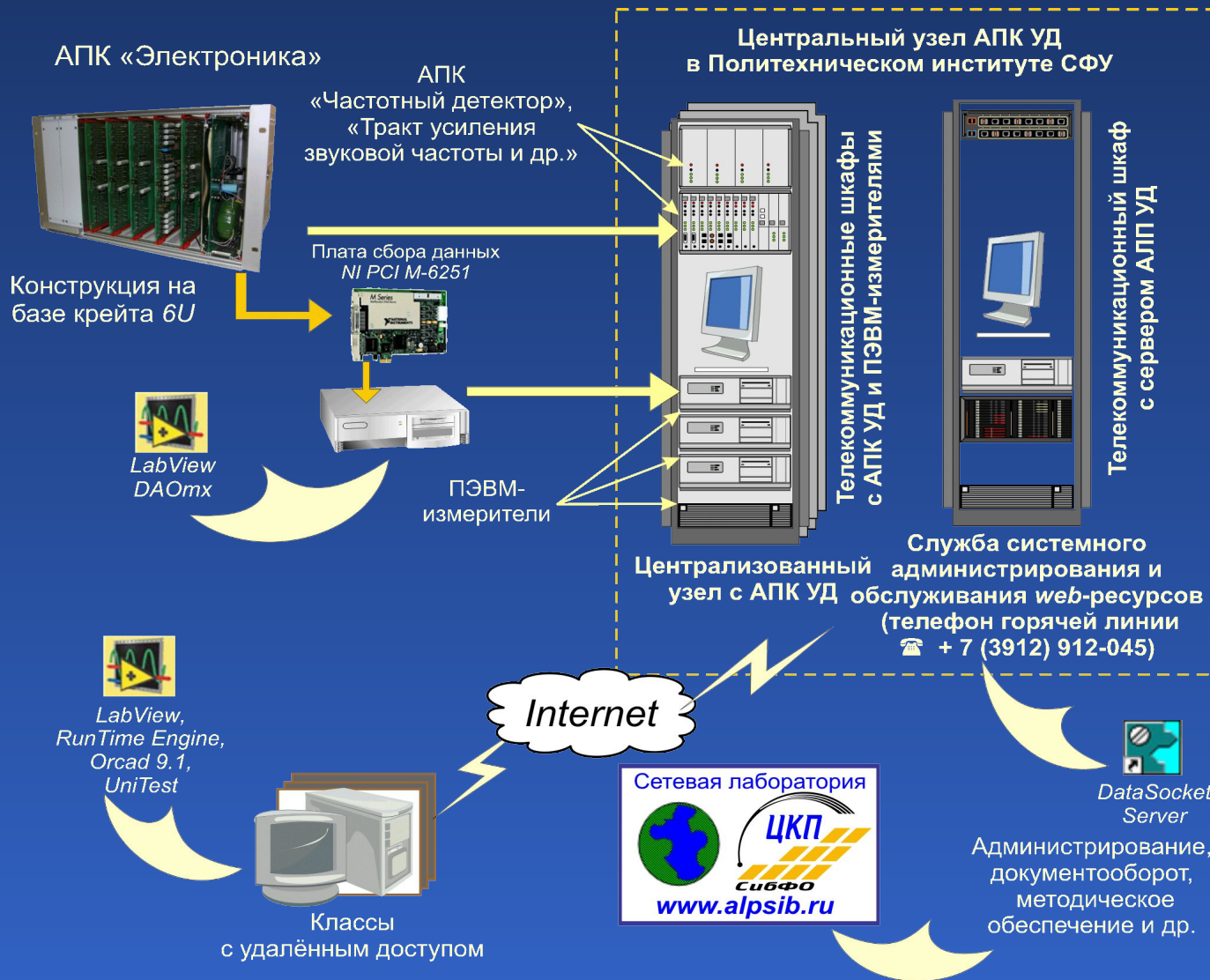
Лицевая панель виртуального лабораторного стенда по измерению вольт-амперных характеристик параметров полевых транзисторов

Обобщенная унифицированная схема построения системы АЛП «Электроника»



Лабораторные установки, макеты и т. п.

Схема организации лабораторного практикума на базе АПК «Электроника»



Примеры приборов и систем

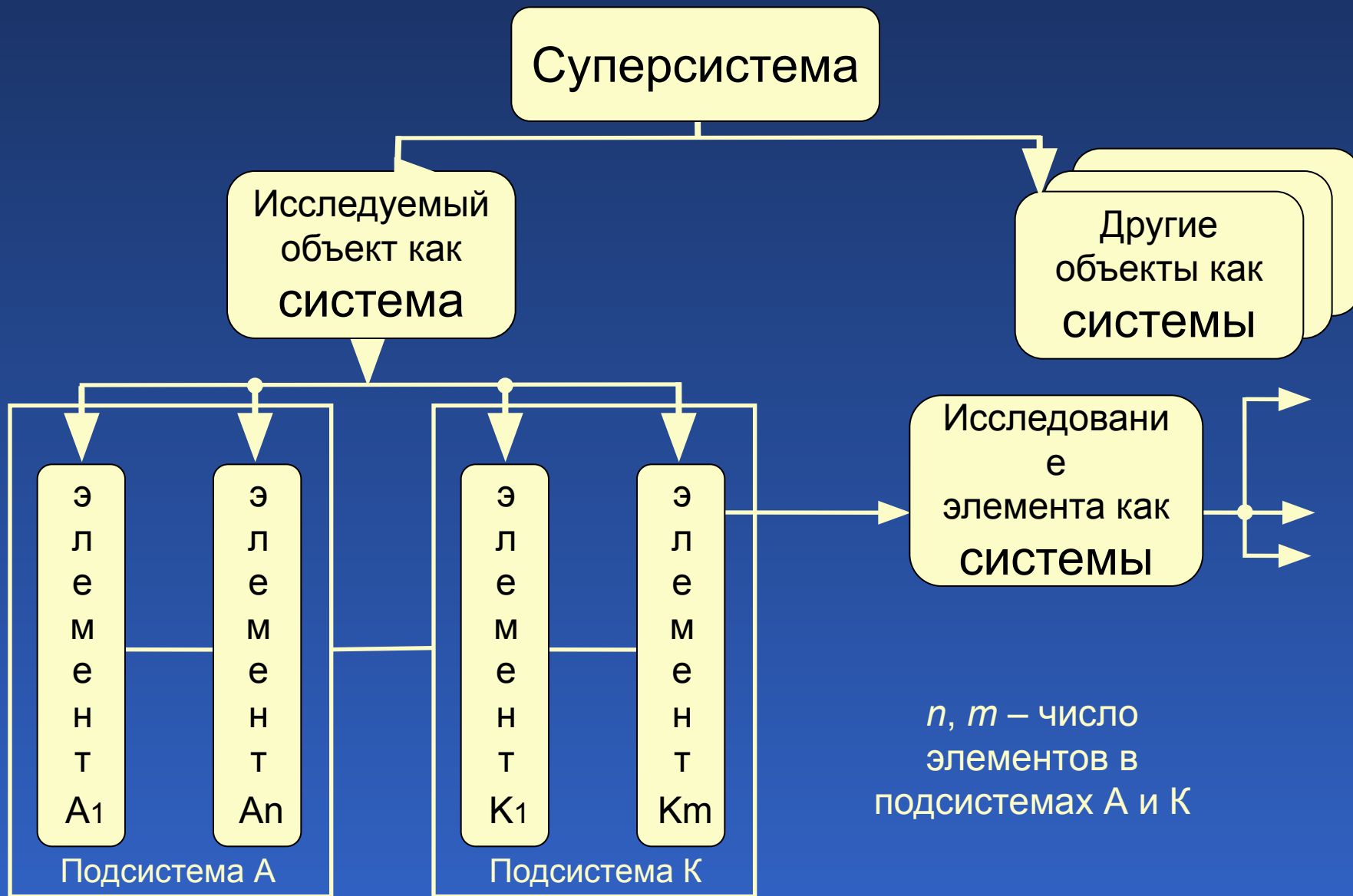
Плата сбора данных серии M

и ее основные технические характеристики



Тип платы сбора данных NI	Число каналов			Диапазон аналогового ввода-вывода, В	Разрядность, бит		Макс. скорость, выборка/с	
	аналогового ввода	аналогового вывода	цифровых ввода-вывода		АЦП	ЦАП	аналогового ввода	аналогового вывода
PCI-6221M	16/8	2	24	±10	16	16	250 тыс.	833 тыс.
PCI-6289M	32/16	4	48	±10	18	16	625 тыс.	2,8 млн
PCI-6251M	16/8	2	24	±10	16	16	1,25 млн	2,8 млн

Иерархия системы при системном подходе



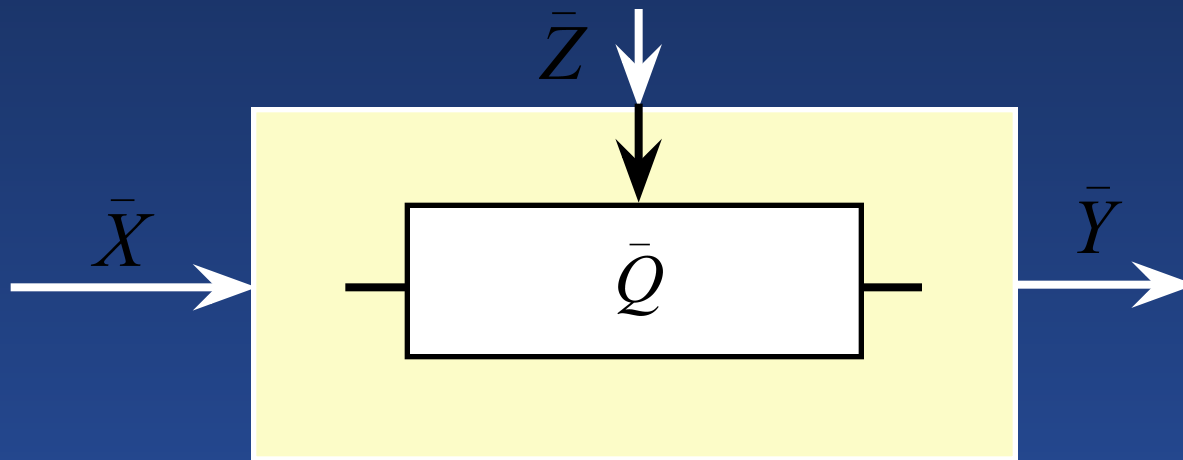
Принципы системного подхода

1. Если исследуемый объект (конструктивный узел, физический процесс в ПС, технологическая операция и т. п.) представляется в виде системы, то в нем можно выделить совокупность подсистем, каждая из которых при определенных условиях может быть рассмотрена как отдельная самостоятельная система. Сам объект при определенных условиях становится элементом другой системы более высокого уровня (суперсистемы). Создается определенная иерархия систем, показанная на слайде 31 (на предыдущем слайде).

2. Необходимая полнота элементов, включенных в систему из исследуемого объекта (замкнутость системы), определяется по силе связи между этими элементами, которая должна быть более чем на два порядка больше силы связи этих же элементов с другими элементами, не входящими в данную систему. Этот признак свидетельствует о возможности исследовать объект автономно, выделив его из окружения других объектов в целостном виде как систему.

3. Целесообразность представления исследуемого объекта в виде системы проверяется на свойстве эмерджентности, а именно: система должна обладать новыми свойствами, не присущими ни одному из ее элементов. Это означает, что расчленив объект на части и изучив их по отдельности, нельзя познать все его свойства.

Формализация технического или физического процессов



$$\bar{Y}(\zeta) = W \left\{ \bar{X}(\zeta), \bar{Q}(\bar{Z}) \right\}$$

\bar{Y} – вектор выходных характеристик,

\bar{X} – вектор входных характеристик,

\bar{Q} – вектор внутренних параметров,

\bar{Z} – вектор внешних воздействий,

$\bar{\zeta}$ – вектор независимых переменных

(t – время, ω – частота, s – оператор Лапласа, l – геометрический параметр)

Показатели параметрической чувствительности

Под **параметрической чувствительностью системы** понимается ее свойство изменять свои выходные характеристики при изменении внутренних параметров. При этом входные воздействия рассматриваются равными своим расчетным значениям без отклонений, т. е. не вносящими вклада в изменения выходных характеристик. Причины изменения параметров могут быть различными. В приборе параметры изменяются под влиянием случайных факторов или при специально вводимых регулировках, настройках и других работах.

Чувствительностью к изменению внутренних параметров обладают практически все выходные характеристики технического процесса. В общей теории чувствительности систем широко используется количественный показатель параметрической чувствительности в виде частной производной выходной характеристики y_j по соответствующему, например, k -му параметру q_k , который называют функцией параметрической чувствительности (ФПЧ):

$$A_{q_k}^{y_j(\zeta)} = \left. \frac{\partial y_j(\zeta)}{\partial q_k} \right|_{\bar{Q}_0},$$

где \bar{Q}_0 – вектор расчетных значений параметров, при которых вычисляется частная производная.

Знак численного значения ФПЧ определяет направление изменения y_j -й характеристики при изменении q_k -го параметра в сторону увеличения.

Показатели параметрической чувствительности

При решении многих задач проектирования ПС, когда по результатам расчетов необходимо количественно сравнивать ФПЧ, применяют относительную форму представления ФПЧ:

$$S_{q_k}^{y_j(\zeta)} = A_{q_k}^{y_j(\zeta)} \cdot \frac{q_k}{y_j(\zeta)}$$

При этом для проектных процедур «ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ» в методиках автоматизированного проектирования используют матрицу относительных ФПЧ:

$$S_{\bar{Q}}^{\bar{Y}} = \begin{matrix} & \begin{matrix} h_1 & h_2 & h_3 & h_4 & h_5 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} -0,09 & 0,14 & 0,18 & 0,47 & 0,30 \\ 0,15 & 0,50 & 0,15 & -0,41 & 0,30 \\ -0,05 & 0,76 & 1,25 & -2,10 & 0,12 \\ 0,01 & -0,45 & 0,10 & 0,52 & -0,22 \end{bmatrix} & \begin{matrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{matrix} \end{matrix}$$

Классификация расчетных моделей



Аналитические модели

Под **аналитической расчетной моделью** понимается математическая модель, представленная средствами математического анализа и алгебры в форме буквенных выражений, определяющих зависимость выходных характеристик ПС и его показателей от входных воздействий, внутренних параметров и независимых аргументов (времени, частоты, пространственных координат, переменной преобразования Лапласа и пр.).

Пример: электрическая модель экранированного электрического поля конструкции прибора описывается зависимостью:

$$y(\zeta) = \frac{q_1}{q_1 + q_2 + q_3} x(\zeta),$$

где $\tilde{x}(\omega) \in \mathbb{R}$ (– напряжение источника наводки в функции частоты сигнала;
 $\tilde{y}(\omega) \in \mathbb{R}$ (– наводимое напряжение на заданном элементе приемника наводки конструкции ПС; $q_1 = C_{\text{и.п.}}, q_2 = C_{\text{э.п.}}, q_3 = C_{\text{п.к.}}$ – емкости между источником и приемником наводки, между экраном и приемником наводки, между приемником наводки и корпусом прибора.

1. Структурная модель состоит из вершин (изображаемых точками) и дуг (непрерывными линиями), которые ориентированы стрелками, причем каждая дуга соединяет две вершины, т. е. выходит из одной и входит в другую в соответствии с направлением стрелки.

2. Все вершины нумеруются, и каждой из них ставится в соответствие одна переменная величина – входное воздействие X_i , выходная характеристика y_i или промежуточная переменная величина y_i .

3. Переменная величина каждой вершины передается по тем направлениям, которые указаны стрелками дуг, выходящих из этой вершины.

4. Каждая дуга модели характеризуется передаточным оператором W_{ij} , где i – номер вершины, из которой выходит дуга (начало дуги), а j – номер вершины, в которую она входит (конец дуги). Передаточный оператор W_{ij} применен к переменной i вершины при передаче ее в вершину j .

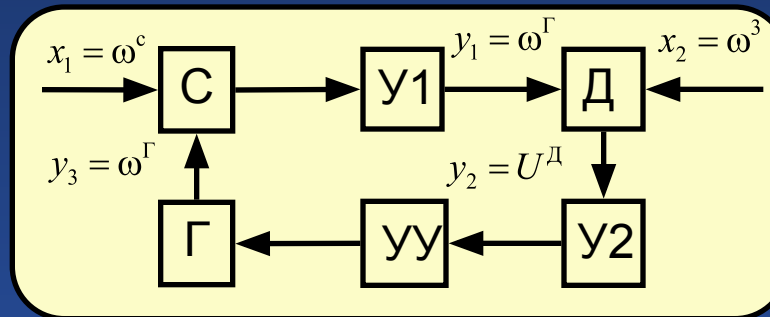
5. Переменная величина любой r -й вершины модели складывается из составляющих, обусловленных передачами переменных величин по дугам, входящим в рассматриваемую r -ю вершину: $e_r = \sum W_{ij} e_i$, где i принимает значения номеров только тех вершин, откуда начинаются дуги, входящие в r -ю вершину. Переменные величины некоторых вершин, являющиеся входными воздействиями модели, не имеют входящих дуг, так как эти величины должны быть заданы в исходной информации к расчету.

Структурные модели

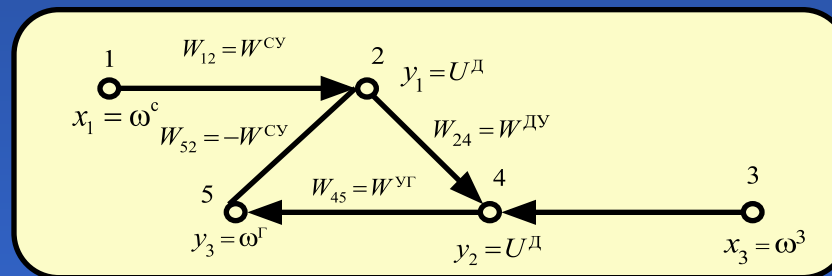
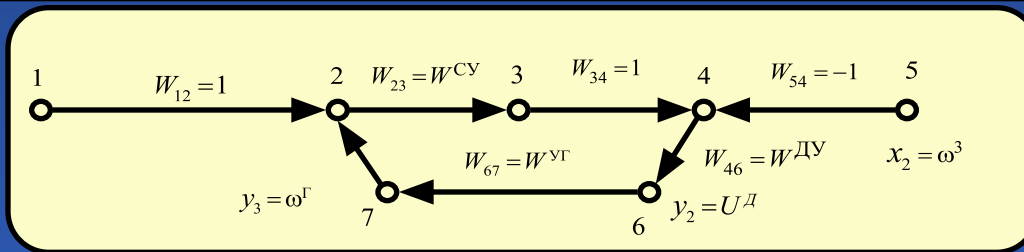
Фрагменты структурной модели		Формула преобразования
до преобразования	после преобразования	
		$W_{in} = W_{ij}W_{jk}\dots W_{mn}$
		$W_{ij} = \sum_{l=1}^d W_{ijl}$
		$W_{ij}^* = \frac{W_{ij}}{1 - W_{jj}}$
		$W_{ik} = W_{ij}W_{jk}$ $W_{kk} = W_{jk}W_{kj}$
		$W_{in} = W_{im}W_{mn}$ $W_{jn} = W_{jm}W_{mn}$ $W_{ln} = W_{lm}W_{mn}$

Примеры структурных моделей

Устройство автоматической подстройки частоты: С – смеситель, У1, У2 – усилители, Д – дискриминатор, УУ – узел управления, Г – гетеродин.



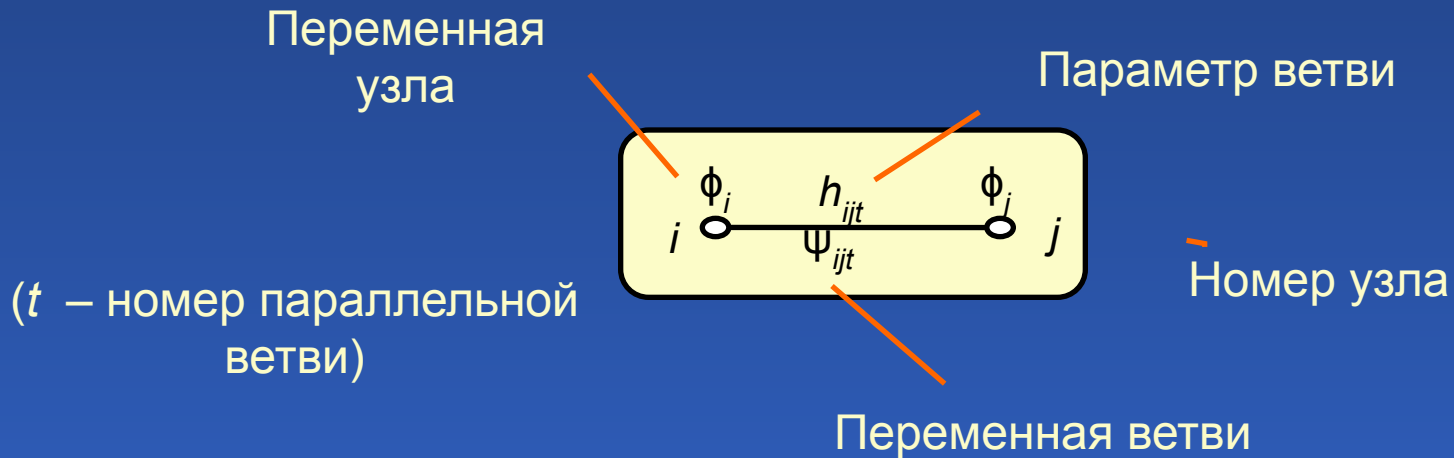
Структурная электрическая модель устройства автоматической подстройки частоты в первой унифицированной форме представления



Топологические модели

Топологическая модель состоит из узлов, изображаемых точками, и ветвей, изображаемых непрерывными линиями, причем каждая ветвь соединяет два узла.

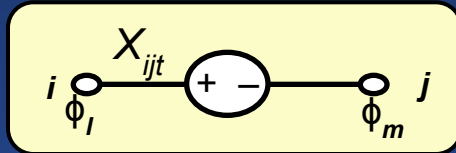
Пассивная ветвь



Топологические модели

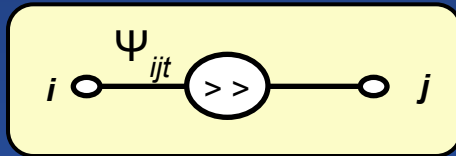
Активные независимые ветви

Источник потенциального воздействия



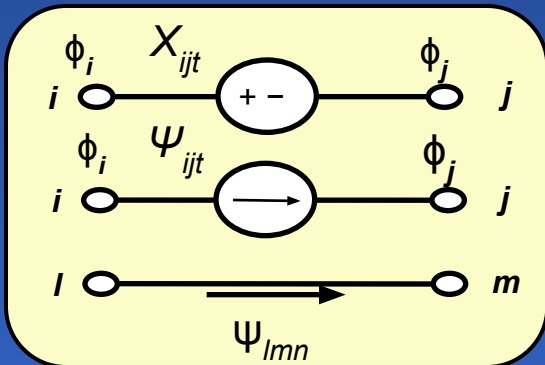
$$X_{ijt} = \varphi_{ij} \neq f(q_k)$$

Источник потокового воздействия



$$\Psi_{ijt} = \psi_{ij} \neq f(q_k)$$

Активные зависимые ветви



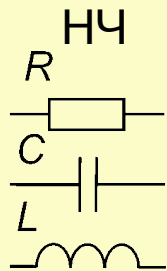
$$X_{ijt} = k_{lmn}^{ijt} \cdot \Delta\varphi_{lmn}$$

$$X_{ijt} = k_{lmn}^{ijt} \cdot \Psi_{lmn}$$

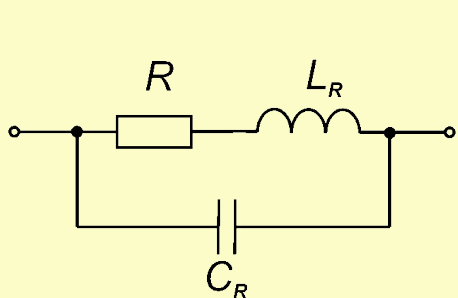
$$\Psi_{ijt} = k_{lmn}^{ijt} \cdot \Delta\varphi_{lmn}$$

$$\Psi_{ijt} = k_{lmn}^{ijt} \cdot \Psi_{lmn}$$

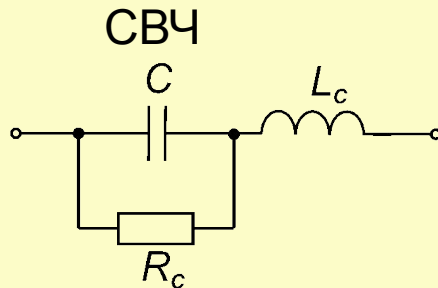
Электрические модели резистора, конденсатора, индуктивности



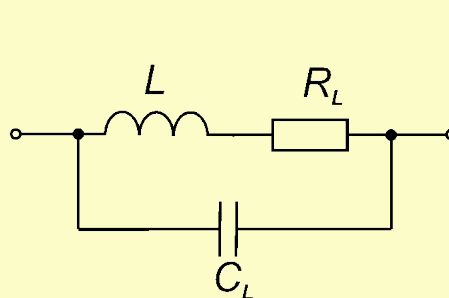
а



б



в

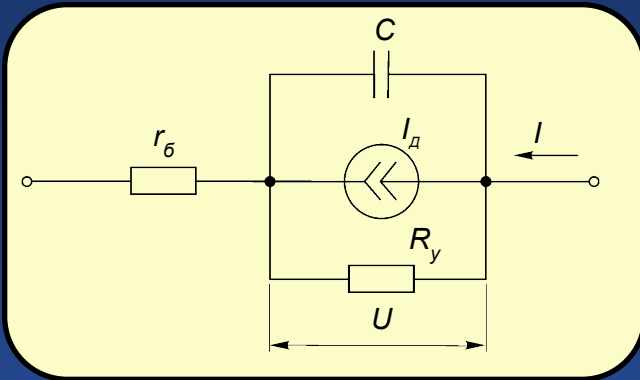


г

Топологические модели ЭРЭ для низкочастотной области (а) и высокочастотные топологические модели резистора (б), конденсатора (в) и катушки индуктивности (г): L_R и C_R – индуктивность и емкость выводов и проводящей части резисторов; R_L – сопротивление обмотки; C_L – межвитковая емкость; R_C – сопротивление потерь в диэлектрике; L_C – индуктивность выводов и обкладок конденсатора

Модели диода и транзистора

Эквивалентная схема диода

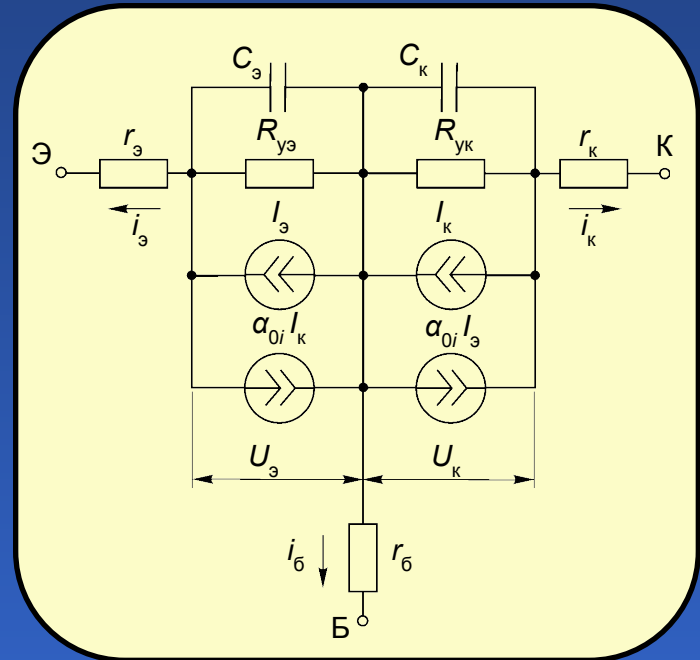


$$I_d = I_0 \left[\exp\left(\frac{U}{m\phi_T}\right) - 1 \right], \quad C = C_{60} \left(\frac{\phi_0}{\phi_0 - U} \right)^n + \frac{\tau}{m\phi_T} (I_d + I_0)$$

Эквивалентная модель Эберса – Молла для биполярного транзистора

$$I_э = I'_{э0} \left[\exp\left(\frac{U_э}{m_э\phi_T}\right) - 1 \right], \quad C_э = \frac{C_{э0}}{(1 - U_э/\phi_{кэ})^{1/2}} + \frac{\tau_F}{m_э\phi_T} (I_э + I'_{э0}),$$

$$I_к = I'_{к0} \left[\exp\left(\frac{U_к}{m_к\phi_T}\right) - 1 \right], \quad C_к = \frac{C_{к0}}{(1 - U_к/\phi_{кк})^{1/2}} + \frac{\tau_R}{m_к\phi_T} (I_к + I'_{к0})$$



Температурные зависимости. Электрические характеристики ЭРЭ

$$R_{\text{nom}} = R[1 + T_{C1}(t - t_{\text{nom}}) + T_{C2}(t - t_{\text{nom}})^2],$$

где R_{nom} – номинальное сопротивление; R – масштабный множитель сопротивления; T_{C1} и T_{C2} – линейный и квадратичный температурные коэффициенты сопротивления – $1/^\circ\text{C}$, $1/^\circ\text{C}^2$ (берутся из справочника исходя из типономинала элемента, например, $1200 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ для резисторов МЛТ-0,5); t_{nom} – номинальная температура окружающей среды (по умолчанию 27°C); t – текущая (рабочая) температура.

$$C_{\text{nom}} = C \cdot (1 + V_{C1} \cdot V + V_{C2} \cdot V^2) \cdot [1 + T_{C1} \cdot (t - t_{\text{nom}}) + T_{C2} \cdot (t - t_{\text{nom}})^2],$$

где C_{nom} – номинальная емкость; C – масштабный множитель емкости; V – приложенное напряжение; V_{C1} и V_{C2} – линейный и квадратичный коэффициенты напряжения; T_{C1} и T_{C2} – линейный и квадратичный температурный коэффициенты емкости (берутся из справочника исходя из типономинала элемента).

Зависимость $C(V)$ учитывается только при расчете переходных характеристик. При расчете частотных характеристик $V_{C1} = V_{C2} = 0$.

Температурные зависимости.
Электрические характеристики ЭРЭ

Зависимость параметров элементов эквивалентной схемы диода от температуры:

$$\begin{aligned}
 I_S(T) &= I_S \exp \{E_G(T) / [N \cdot V_t(T)] T / T_{\text{nom}} - 1\} \cdot (T / T_{\text{nom}})^{X_{TI} / N}; \\
 I_{SR}(T) &= I_{SR} \exp \{E_G(T) / [N \cdot V_t(T)] T / T_{\text{nom}} - 1\} \cdot (T / T_{\text{nom}})^{X_{TI} / N}; \\
 I_{KF}(T) &= I_{KF} [1 + T_{IKF}(T - T_{\text{nom}})]; \\
 B_V(T) &= B_{V1} [1 + T_{BV1}(T - T_{\text{nom}}) + T_{BV2}(T - T_{\text{nom}})^2]; \\
 R_S(T) &= R_S [1 + T_{RS1}(T - T_{\text{nom}}) + T_{RS2}(T - T_{\text{nom}})^2]; \\
 V_J(T) &= V_J \cdot T / T_{\text{nom}} - 3V_t(T) \ln(T / T_{\text{nom}}) - E_G(T_{\text{nom}}) T / T_{\text{nom}} + E_G(T); \\
 C_{JO}(T) &= C_{JO} \{1 + M[0,0004(T - T_{\text{nom}}) + 1 - V_J(T) / V_J]\}; \\
 K_F(T) &= K_F \cdot V_J(T) / V_J; \\
 A_F(T) &= A_F \cdot V_J(T) / V_J; \\
 E_G(T) &= E_{GO} - aT^2 / (b + T),
 \end{aligned}$$

где $E_G(T_{\text{nom}})$ – ширина запрещенной зоны при номинальной температуре (1,11 эВ для кремния; 0,67 эВ для германия; 0,69 эВ для диодов с барьером Шотки при температуре 27 °С). Значения параметров I_S , V_t , V_J , C_{JO} , K_F , A_F , E_G берутся для номинальной температуры T_{nom} ; для кремния $E_{GO} = 1,16$ эВ, $a = 7 \cdot 10^{-4}$, $b = 1108$; $X_{TI} = 3$ для диодов с p - n -переходом и $X_{TI} = 2$ для диодов с барьером Шотки.

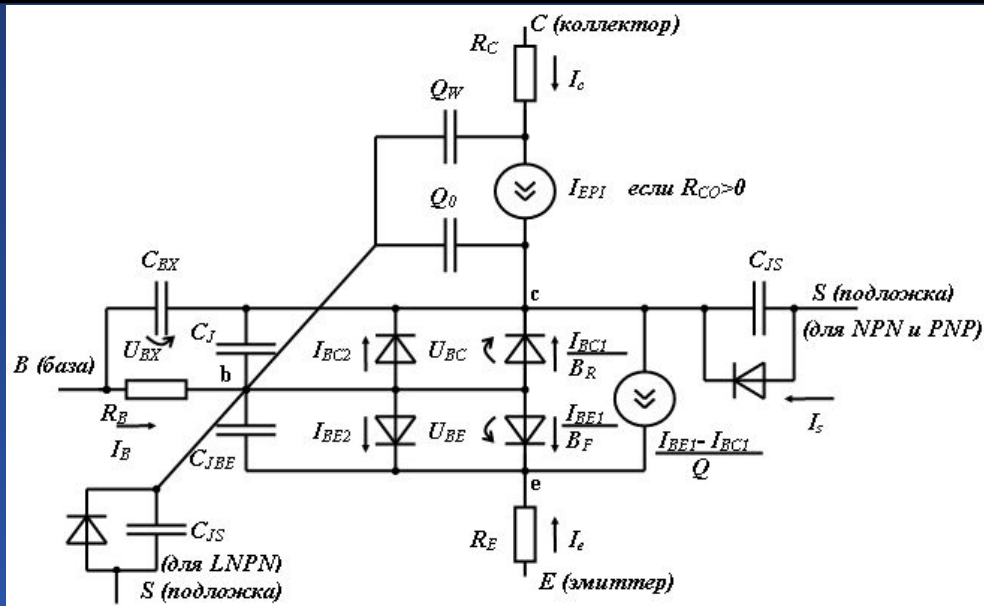
Температурные зависимости.
Электрические характеристики ЭРЭ

Параметры элементов эквивалентной схемы диода

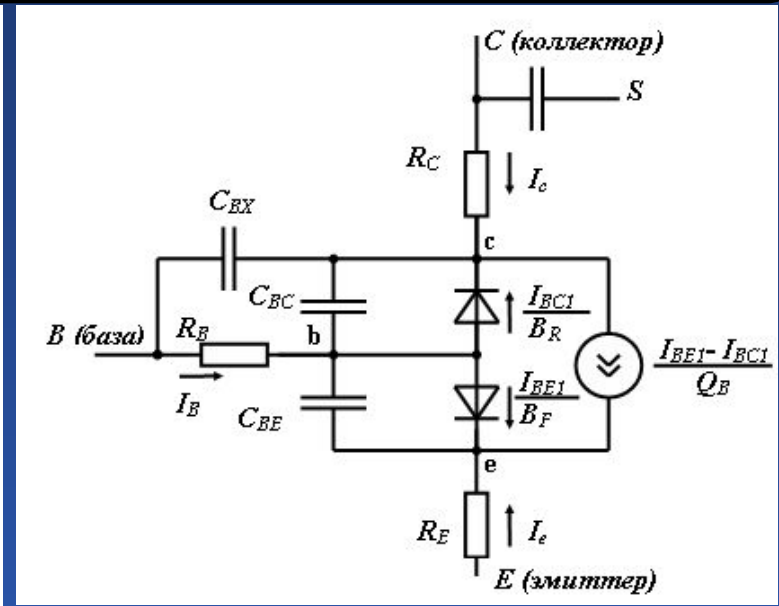
Имя параметра	Параметр	Размерность	Значение по умолчанию
A_F	Показатель степени, определяющий зависимость спектральной плотности фликкер-шума от тока через переход	–	1
C_{JO}	Барьерная емкость при нулевом смещении	Ф	0
E_G	Ширина запрещенной зоны	эВ	1.11
I_S	Ток насыщения при температуре 27 °С	А	10^{-14}
K_F	Коэффициент фликкер-шума	–	0
V_J	Контактная разность потенциалов	В	1

Модель биполярного транзистора в программе OrCAD 9.2

В **OrCAD 9.2** используется схема замещения биполярного транзистора в виде адаптированной модели Гуммеля – Пуна, которая по сравнению с исходной моделью позволяет учесть эффекты, возникающие при больших смещениях на переходах. Эта модель автоматически упрощается до более простой модели Эберса – Молла, если опустить некоторые параметры.



а



б

а – модель Гуммеля – Пуна; б – передаточная модель Эберса – Молла; принятые обозначения: I_B – ток базы; I_C – ток коллектора; I_{BE} – ток коллектора в нормальном режиме; I_{BC1} – ток коллектора в инверсном режиме; I_{BE2} , I_{BC2} – составляющие тока перехода база-эмиттер, вызванные неидеальностью перехода; I_S – ток подложки; U_{BE} , U_{BC} – напряжения на переходе внутренняя база-эмиттер и внутренняя база-коллектор; U_{BS} – напряжение внутренняя база-подложка; U_{BN} – напряжение внутренняя база-подложка для режима квазинасыщения; U_{BX} – напряжение база-внутренний коллектор; U_{CB} – напряжение внутренний коллектор-внутренний эмиттер; U_{JS} – напряжение внутренний коллектор-подложка для *NPN*-транзистора, напряжение внутренняя подложка-коллектор для *PNP*-транзистора или напряжение внутренняя база-подложка для *LPNP*-транзистора

Параметры модели биполярного транзистора в OrCAD 9.2

Имя параметра	Параметр	Размерность	Значение по умолчанию
1	2	3	4
A_F	Показатель степени, определяющий зависимость спектральной плотности фликкер-шума от тока через переход	–	1
B_F	Максимальный коэффициент передачи тока в нормальном режиме в схеме с ОЭ (без учета токов утечки)	–	100
B_R	Максимальный коэффициент передачи тока в инверсном режиме в схеме с ОЭ	–	1
C_{JC}	Емкость коллекторного перехода при нулевом смещении	Ф	0
C_{JE}	Емкость эмиттерного перехода при нулевом смещении	пФ	0
$C_{JS} (C_{CS})$	Емкость коллектор-подложка при нулевом смещении	Ф	0
E_G	Ширина запрещенной зоны	эВ	1,11
F_C	Коэффициент нелинейности барьерных емкостей прямосмещенных переходов	–	0,5
$GAMMA$	Коэффициент легирования эпитаксиальной области	A	10^{-11}
$I_{KF} (I_K)^*$	Ток начала спада зависимости B_F от тока коллектора в нормальном режиме	–	∞
I_{KR}^*	Ток начала спада зависимости B_R от тока эмиттера в инверсном режиме	A	∞
I_{RB}^*	Ток базы, при котором сопротивление базы уменьшается на 50 % полного перепада между R_b и R_{bm}	A	UO
I_S	Ток насыщения при температуре 27 °C	A	10^{-16}
$I_{SC} (C4)^*$	Ток насыщения утечки перехода база-коллектор	A	0
$I_{SE} (C2)^*$	Ток насыщения утечки перехода база-эмиттер	A	0

Параметры модели биполярного транзистора в OrCAD 9.2

Имя параметра	Параметр	Размерность	Значение по умолчанию
I_{SS}	Обратный ток $p-n$ -перехода подложки	А	0
I_{TF}	Ток, характеризующий зависимость T_F от тока коллектора при больших токах	А	0
K_F	Коэффициент, определяющий спектральную плотность фликкер-шума	–	0
$M_{JC} (M_C)$	Коэффициент, учитывающий плавность коллекторного перехода	–	0,33
$M_{JE} (M_E)$	Коэффициент, учитывающий плавность эмиттерного перехода	–	0,33
$M_{JS} (M_S)$	Коэффициент, учитывающий плавность перехода коллектор-подложка	–	0
N_C^*	Коэффициент неидеальности коллекторного перехода	–	1,5
N_E^*	Коэффициент неидеальности перехода база-эмиттер	–	1,5
N_F	Коэффициент неидеальности в нормальном режиме	–	1
N_K	Коэффициент, определяющий множитель Q_B	–	0,5
N_R	Коэффициент неидеальности в инверсном режиме	–	1
N_S	Коэффициент неидеальности перехода подложки	–	1
P_{TF}	Дополнительный фазовый сдвиг на граничной частоте транзистора $f_{gp} = 1 / (2\pi TF)$	град.	0
Q_{CO}	Множитель, определяющий заряд в эпитаксиальной области	Кл	0
R_B	Объемное сопротивление базы (максимальное) при нулевом смещении перехода база-эмиттер	Ом	0
R_{BM}^*	Минимальное сопротивление базы при больших токах	Ом	RB

Параметры модели биполярного транзистора в OrCAD 9.2

Имя параметра	Параметр	Размерность	Значение по умолчанию
R_C	Объемное сопротивление коллектора	Ом	умолчанию
R_{CO}	Сопротивление эпитаксиальной области	Ом	0
R_E	Объемное сопротивление эмиттера	Ом	0
T_F	Время переноса заряда через базу в нормальном режиме	с	0
T_R	Время переноса заряда через базу в инверсном режиме	с	0
T_{RB1}	Линейный температурный коэффициент R_B	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	0
T_{RB2}	Квадратичный температурный коэффициент R_B	$^{\circ}\text{C}^{-2}$	0
T_{RC1}	Линейный температурный коэффициент R_C	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	0
T_{RC2}	Квадратичный температурный коэффициент R_C	$^{\circ}\text{C}^{-2}$	0
T_{RE1}	Линейный температурный коэффициент R_E	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	0
T_{RE2}	Квадратичный температурный коэффициент R_E	$^{\circ}\text{C}^{-2}$	0
T_{RM1}	Линейный температурный коэффициент R_{BM}	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	0
T_{RM2}	Квадратичный температурный коэффициент R_{BM}	$^{\circ}\text{C}^{-2}$	0
T_{ABS}	Абсолютная температура	$^{\circ}\text{C}$	–
$T_{MEASURED}$	Температура измерений	$^{\circ}\text{C}$	–
T_{REL_GLOBAL}	Относительная температура	$^{\circ}\text{C}$	–
T_{REL_LOCAL}	Разность между температурой транзистора и модели-прототипа	$^{\circ}\text{C}$	–
$V_{AF} (V_A)^*$	Напряжение Эрли в нормальном режиме	В	∞
$V_{AR} (V_B)^*$	Напряжение Эрли в инверсном режиме	В	∞
$V_{JC} (P_C)$	Контактная разность потенциалов перехода база-коллектор	В	0,75

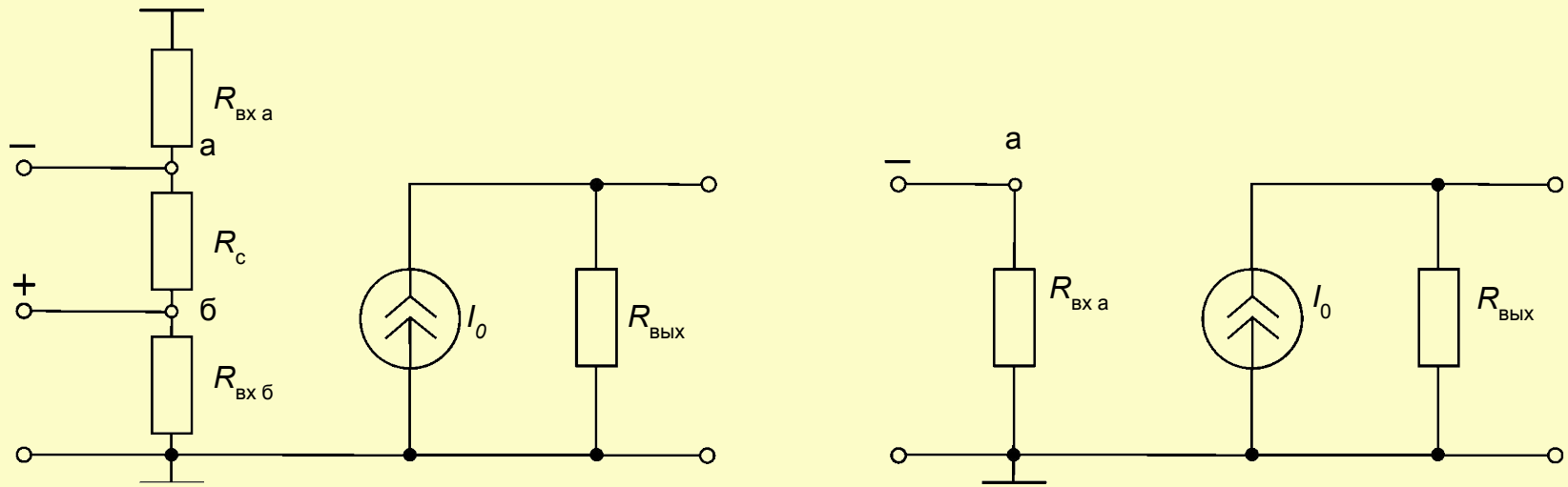
Параметры модели биполярного транзистора в OrCAD 9.2

Имя параметра	Параметр	Размерность	Значение по умолчанию
$V_{JE}(P_E)$	Контактная разность потенциалов перехода база-эмиттер	В	0,75
$V_{JS}(P_S)$	Контактная разность потенциалов перехода коллектор-подложка	В	0,75
V_O	Напряжение, определяющее перегиб зависимости тока эпитаксиальной области	В	10
V_{TF}	Напряжение, характеризующее зависимость T_F от смещения база-коллектор	В	∞
X_{CJC}	Коэффициент расщепления емкости база-коллектор C_{JC}	–	1
X_{CJC2}	Коэффициент расщепления емкости база-коллектор C_{JC}	–	1
X_{TB}	Температурный коэффициент B_F и B_R	–	0
X_{TF}	Коэффициент, определяющий зависимость T_F от смещения база-коллектор	–	0
$X_{TI}(P_T)$	Температурный коэффициент I_S	–	3

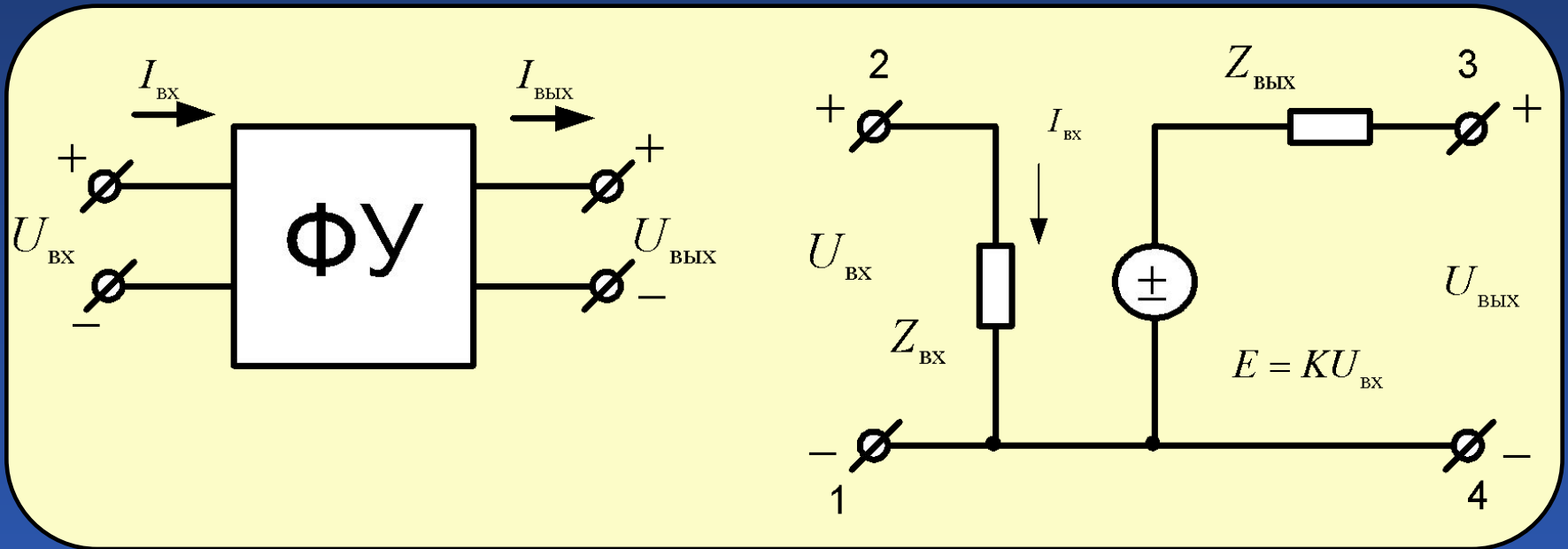
* Только для модели Гуммеля – Пуна

Примечание. В круглых скобках в левой графе таблицы указаны альтернативные обозначения параметров. Параметр R_B для модели Эберса – Молла имеет смысл объемного сопротивления базы, не зависящего от тока базы. Остальные параметры имеют одинаковый смысл для моделей Эберса – Молла и Гуммеля – Пунна.

Макромодель операционного усилителя

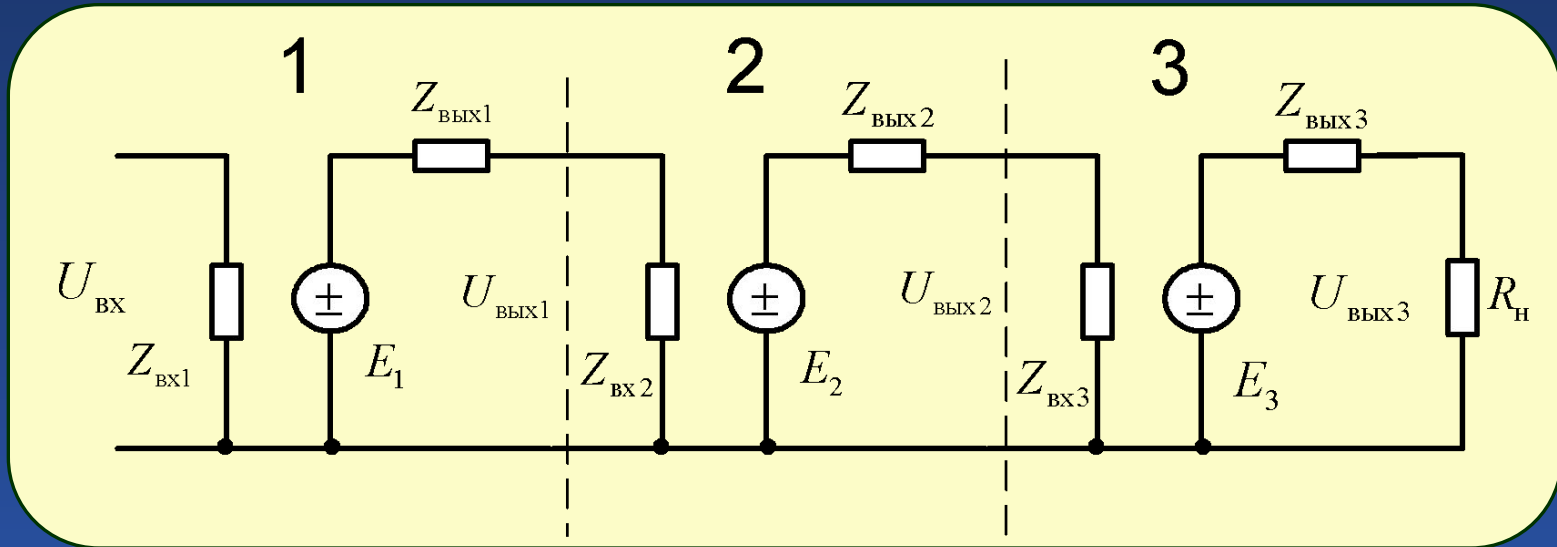


Макромодель функционального узла



Макромодель усилителя напряжения.

Усилитель, состоящий из 3 каскадов



$$E_1 = U_{BX} \cdot K_{u1} \quad E_2 = U_{ВЫХ} \cdot K_{u2} \quad E_3 = U_{ВЫХ} \cdot K_{u3},$$

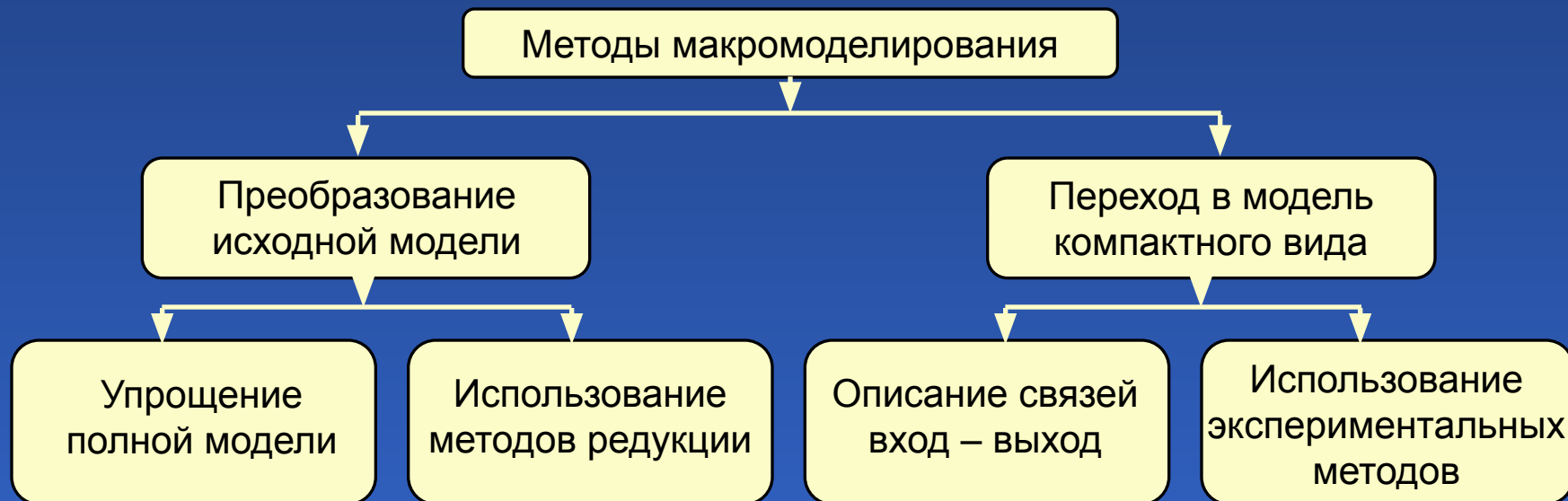
$$r_{ВХ2} = r_{ВХ1} \cdot r_{ВХ},$$

$$E_3 = [(U_{BX} \cdot K_{u1}) \cdot K_{u3}] \cdot K_{u3} \quad E_3 = U_{ВЫХ}$$

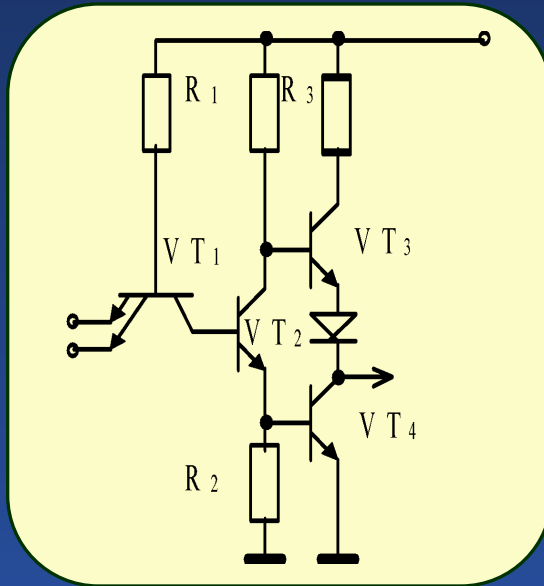
Макромоделирование функциональных узлов

Макромодель – упрощенная модель, связывающая входные и выходные характеристики функционального узла ПС с частичным раскрытием его внутренних параметров.

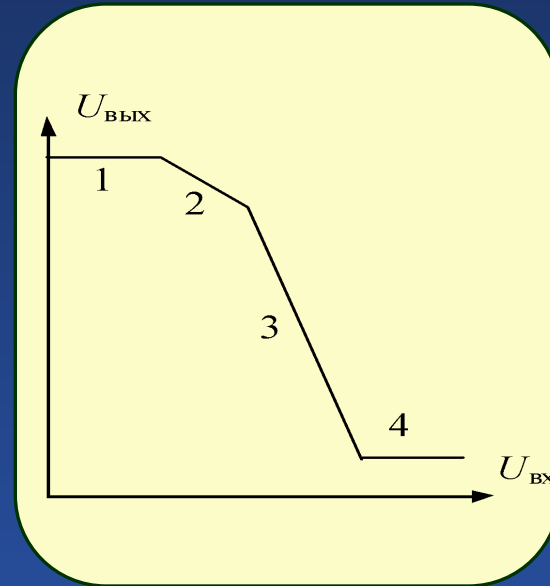
Классификация методов макромоделирования



Упрощение полной модели



Электрическая схема
ТТЛ-инвертора



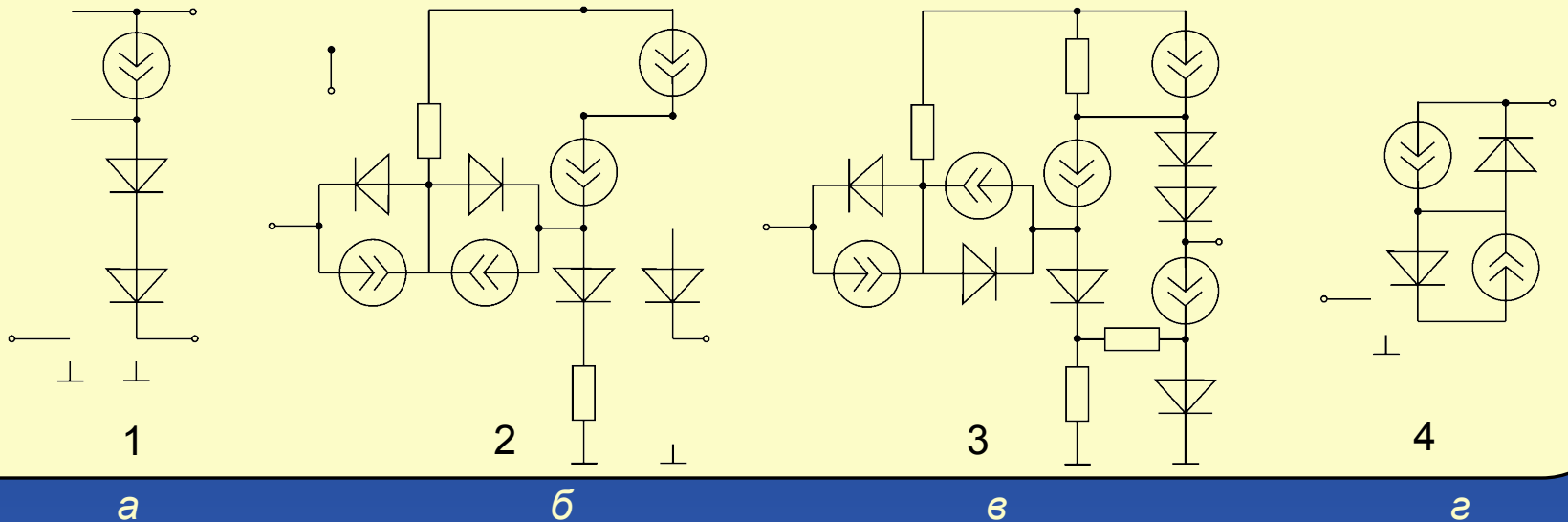
Передаточная
характеристика
ТТЛ-инвертора

Заменим транзисторы $VT1-VT4$ упрощенной (не учитывающей динамические свойства транзистора и активные сопротивления эмиттера, базы и коллектора) моделью Эберса – Молла.

Расчетные модели

Упрощение полной модели

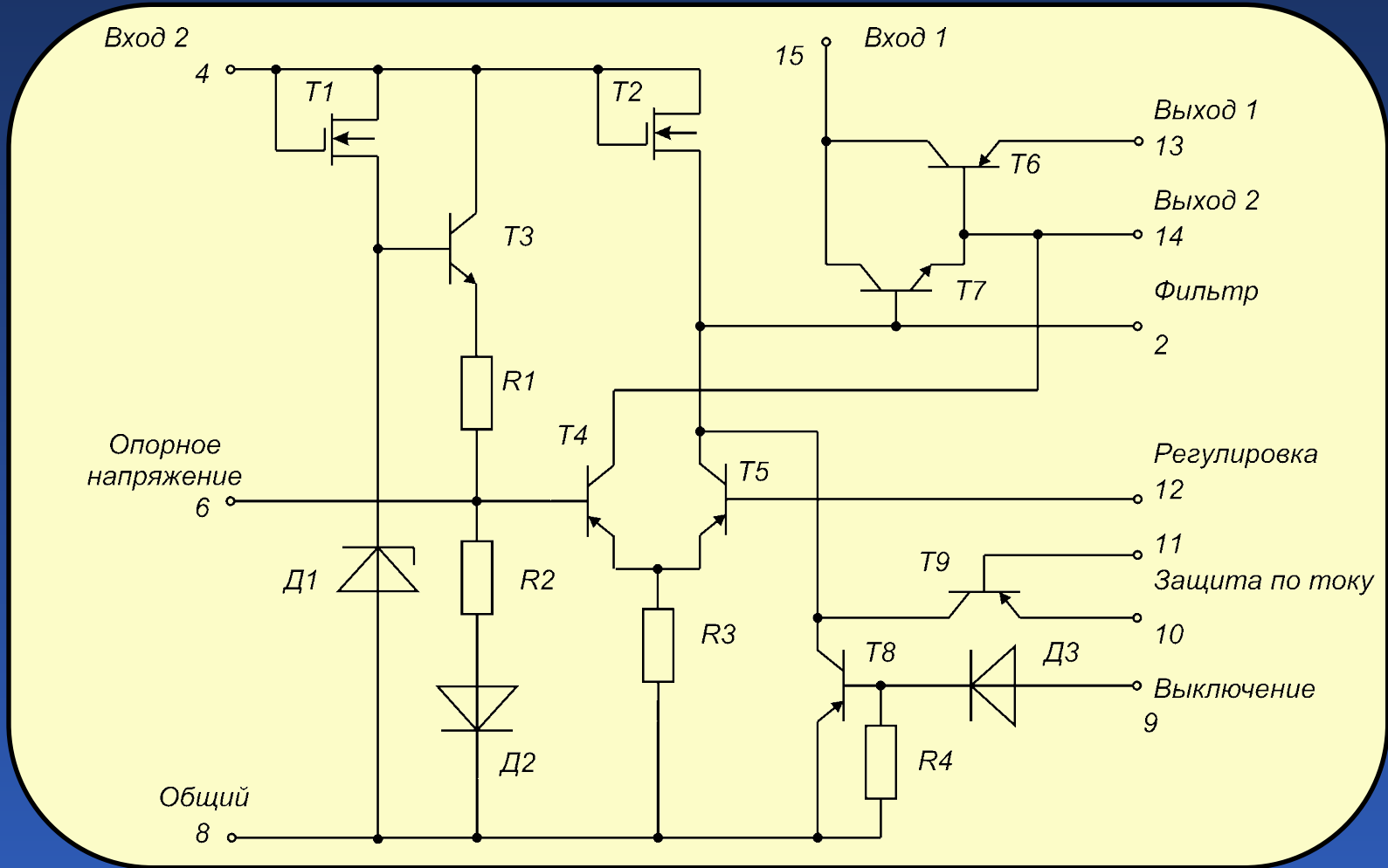
В результате замены получим полную модель ТТЛ-вентиля. Проведя расчет полной модели, определив и проанализировав функции чувствительности, получаем ряд макромоделей, каждая из которых соответствует своему участку (1–4) передаточной характеристики.



Макромоделли ТТЛ-вентиля для разных участков передаточной характеристики

На участке 1 наибольшими являются чувствительности выходной характеристики к изменению резистора R_3 и параметрам транзистора VT_3 . В результате на участке 1 макромоделль принимает вид, показанный на рис. а. Аналогичный анализ функций чувствительности позволяет определить макромоделли на участках 2–4 (рис. б–г).

Электрическая схема стабилизатора



Процесс построения макромодели разобьем на два этапа. На первом этапе получим топологию макромодели, а на втором определим параметры элементов макромодели.

Передаточная характеристика стабилизатора напряжения

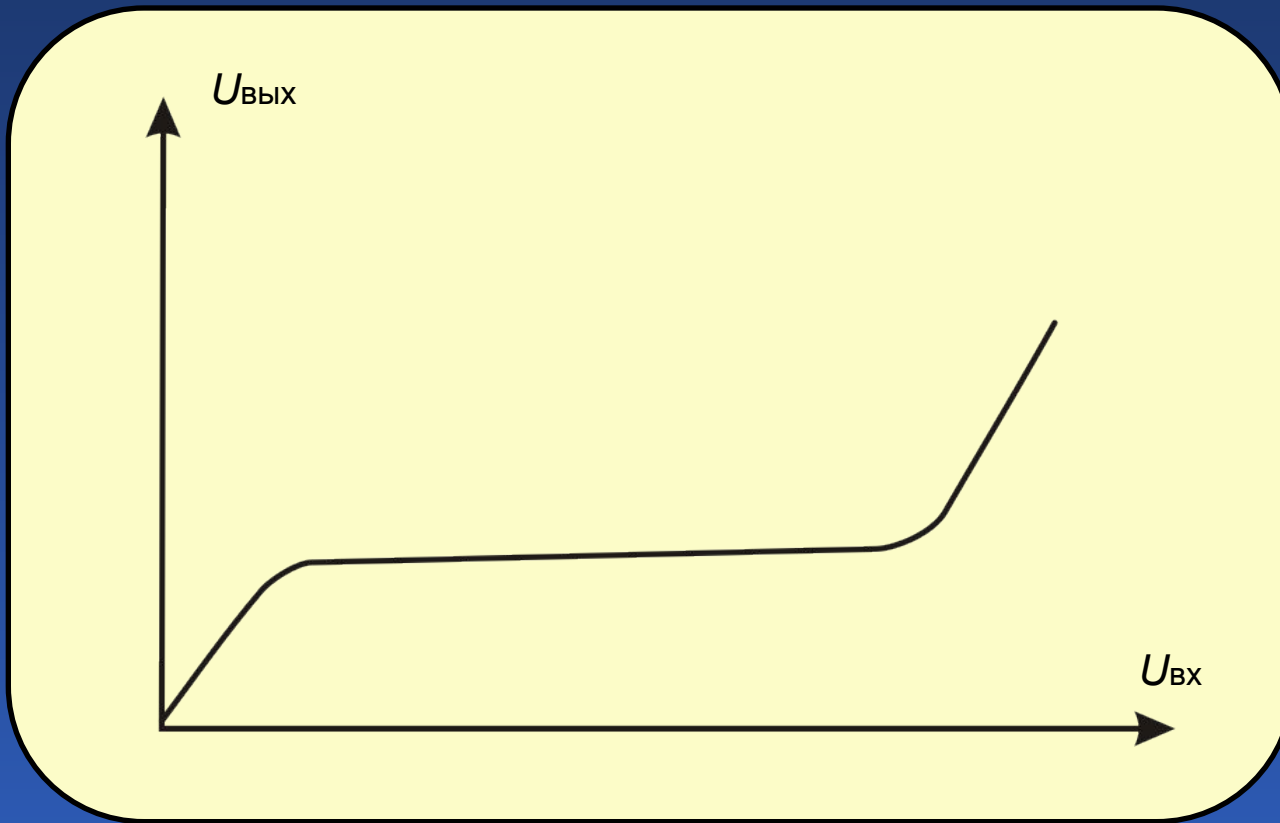
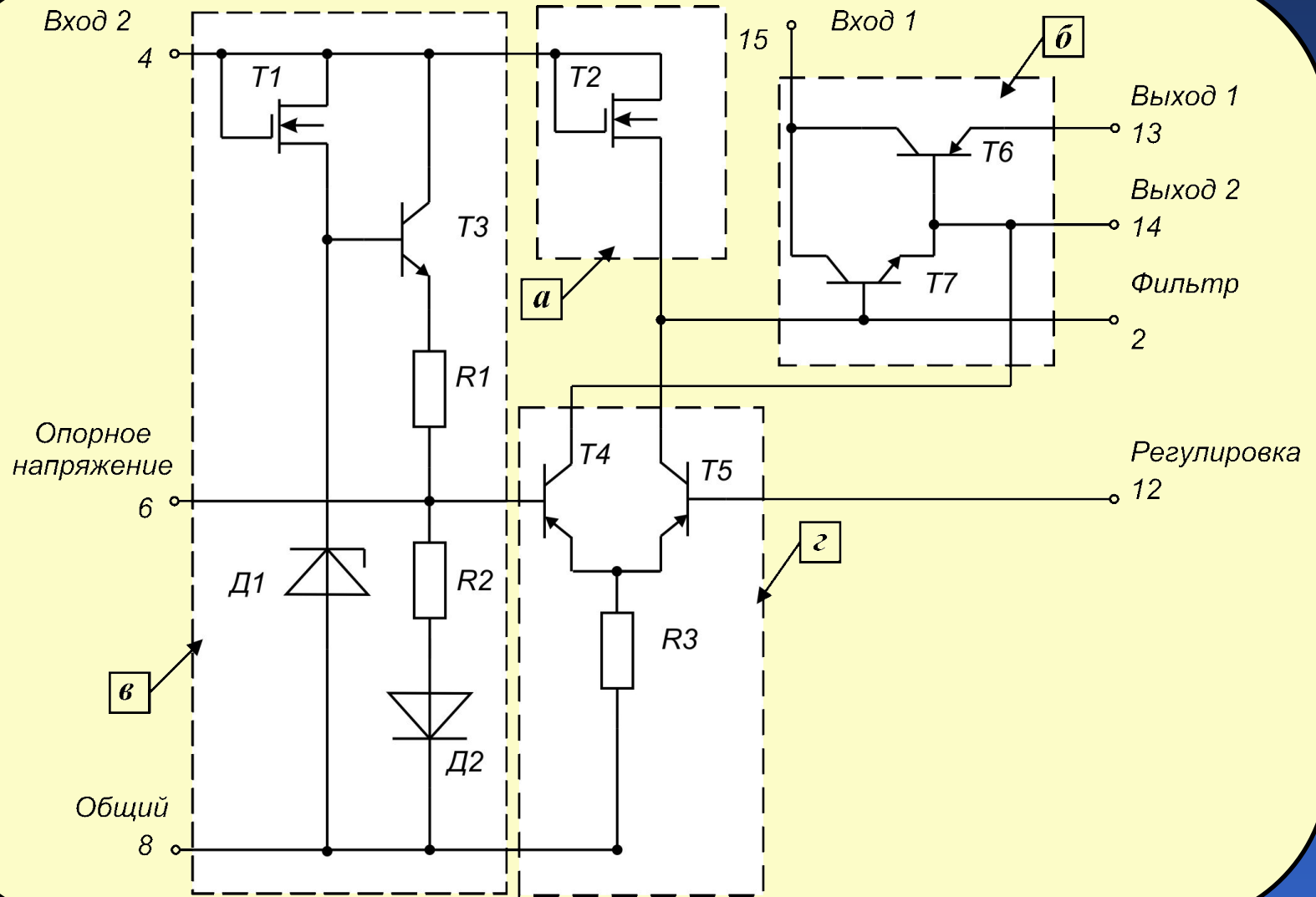
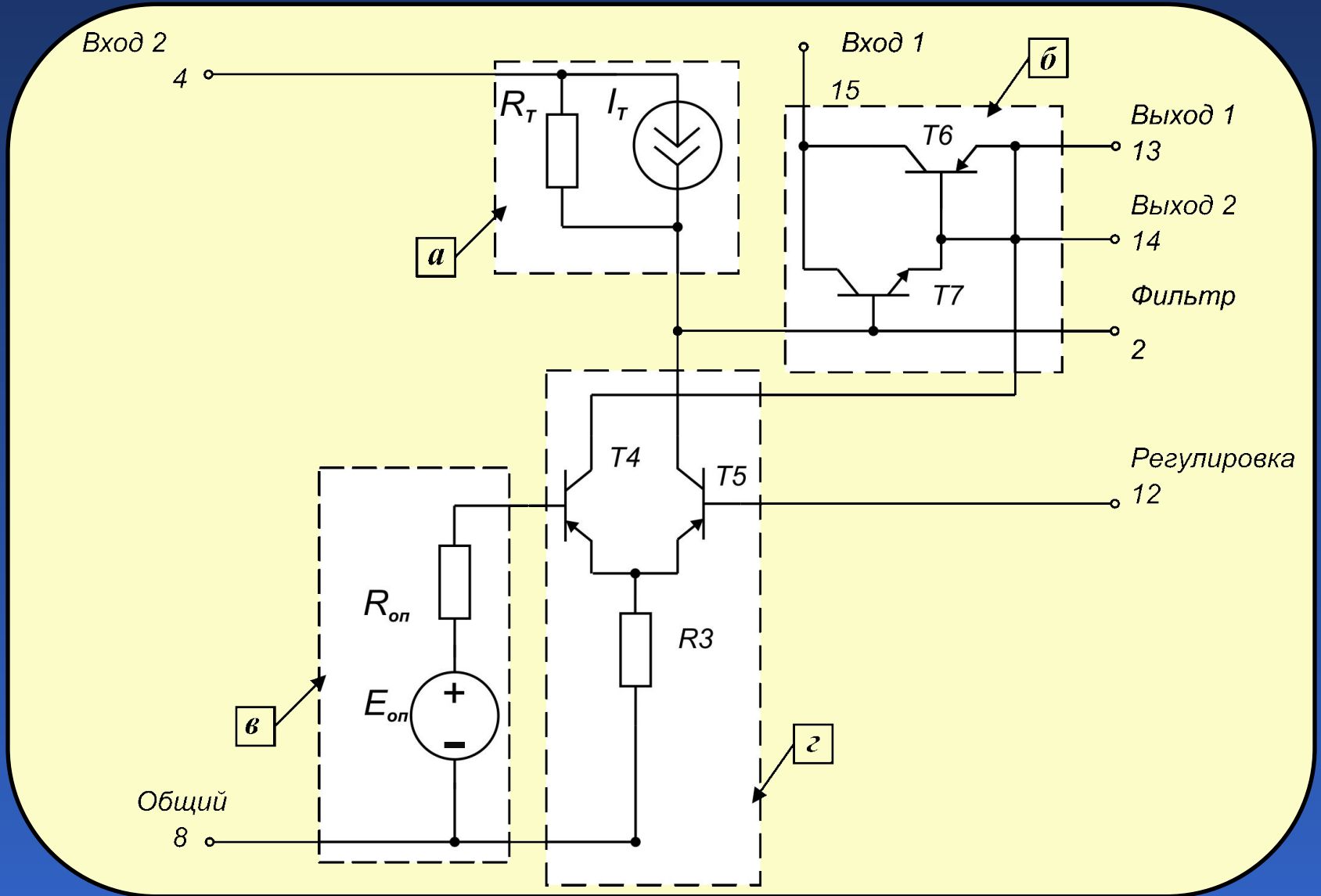


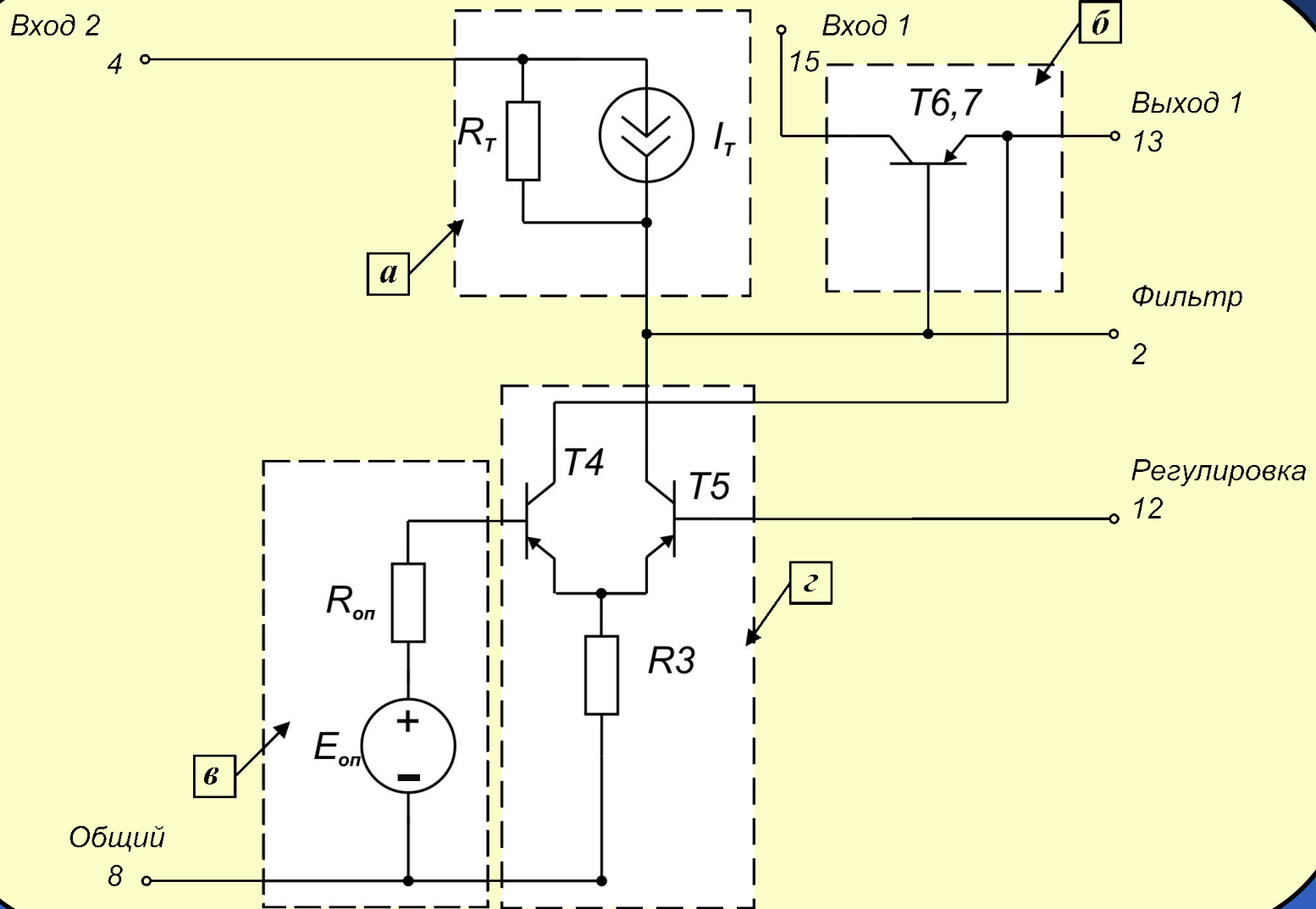
Схема стабилизатора



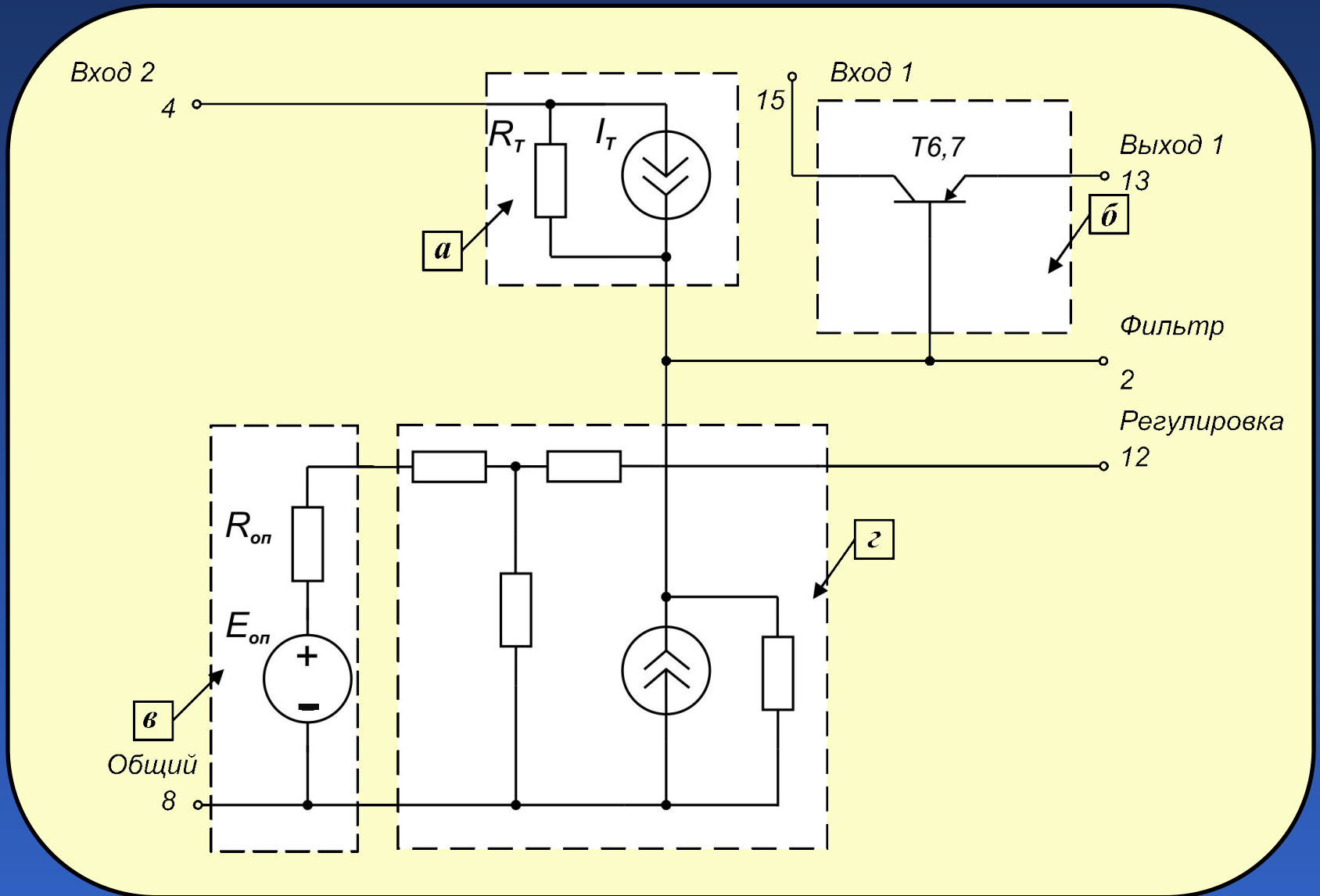
Результаты замены источника опорного напряжения
и источника тока их эквивалентами



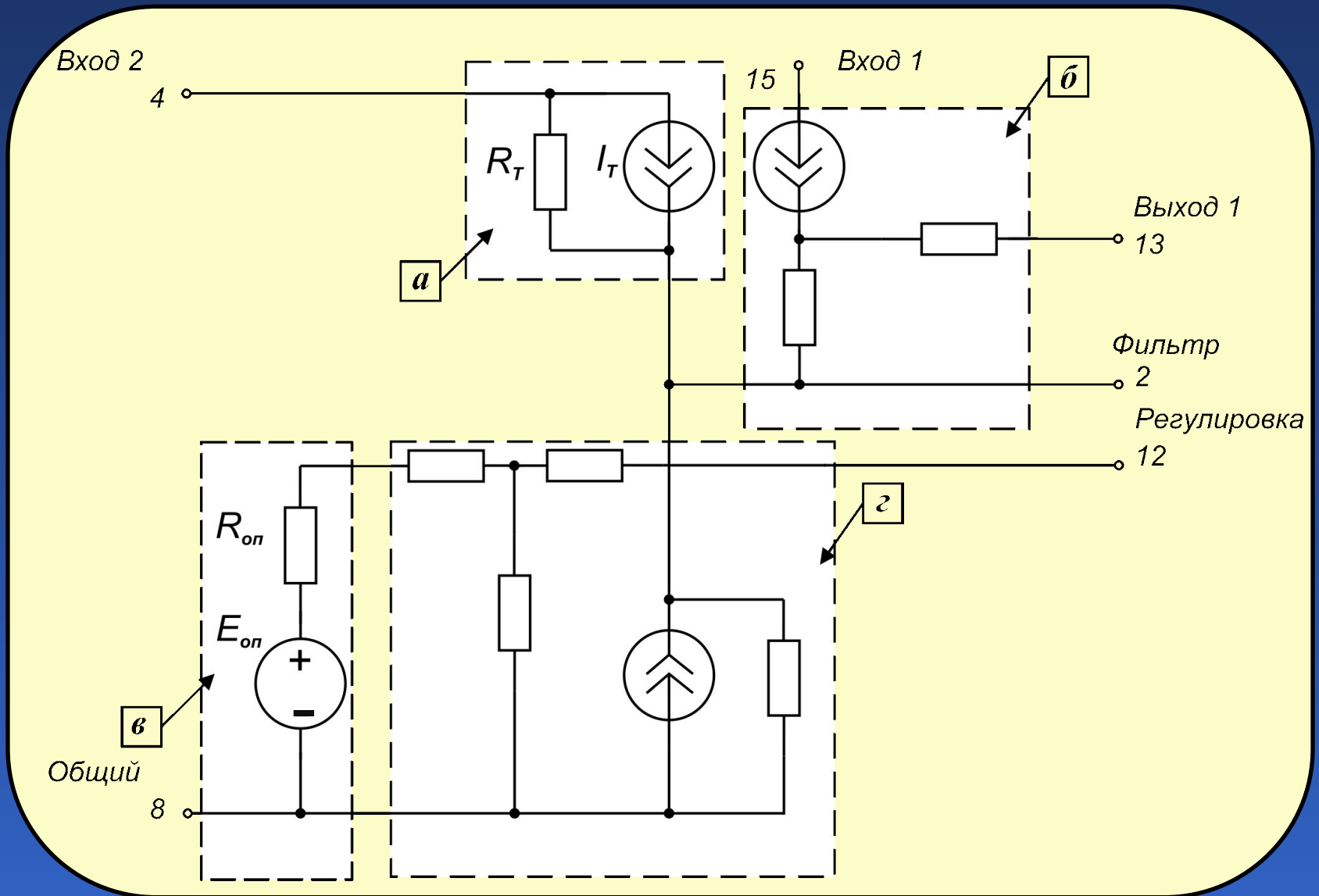
Результаты замены усилителя мощности



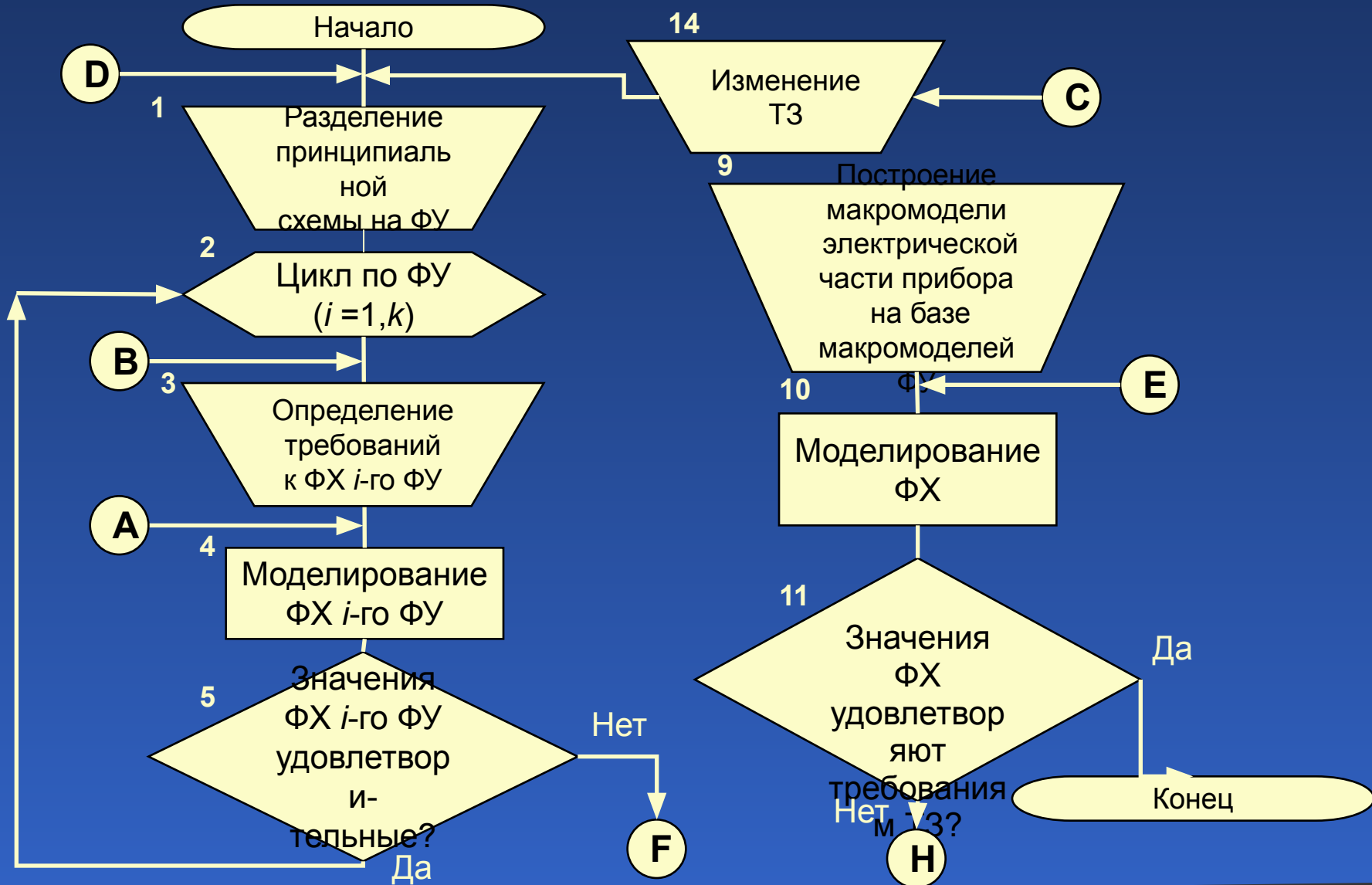
Результат замены узла сравнения



Топология макромодели стабилизатора напряжения



Блок-схема алгоритма исследования электрических характеристик ПС на основе макромоделей

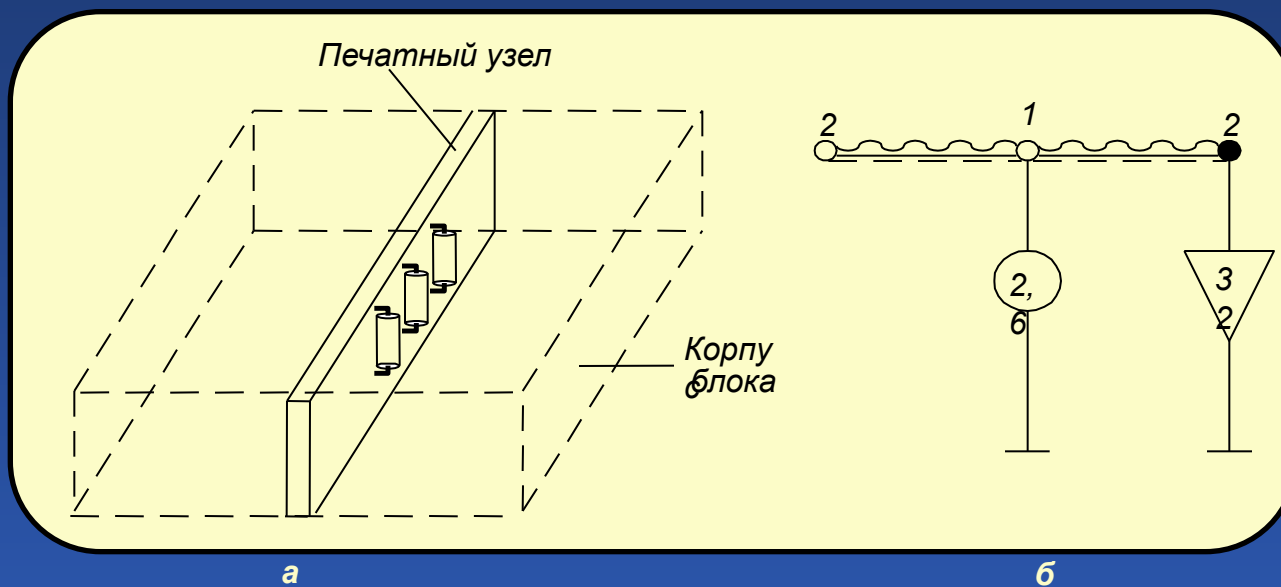


Блок-схема алгоритма исследования электрических характеристик ПС на основе макромоделей



Модели тепловых процессов

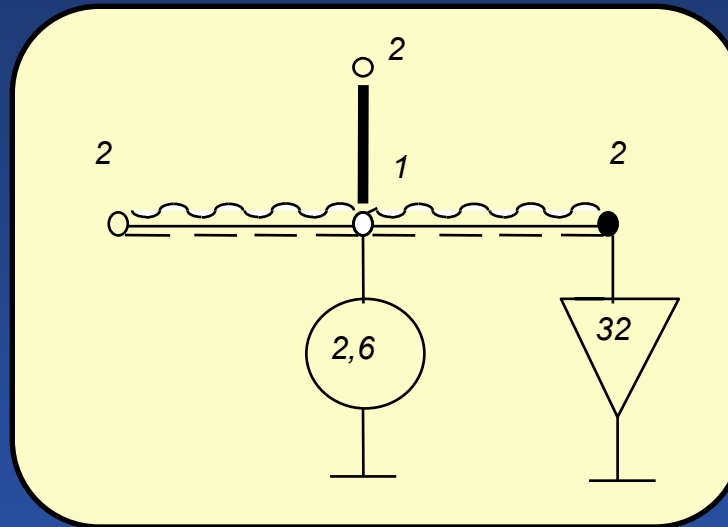
Эскиз конструкции блока с установленным в нем печатным узлом (а) и граф его модели тепловых процессов (б)



Температура корпуса известна и составляет 32°C . Мощность тепловыделения в печатном узле составляет $2,6 \text{ Вт}$.

Модели тепловых процессов

Топологическая тепловая модель системы тел «печатный узел – корпус блока»

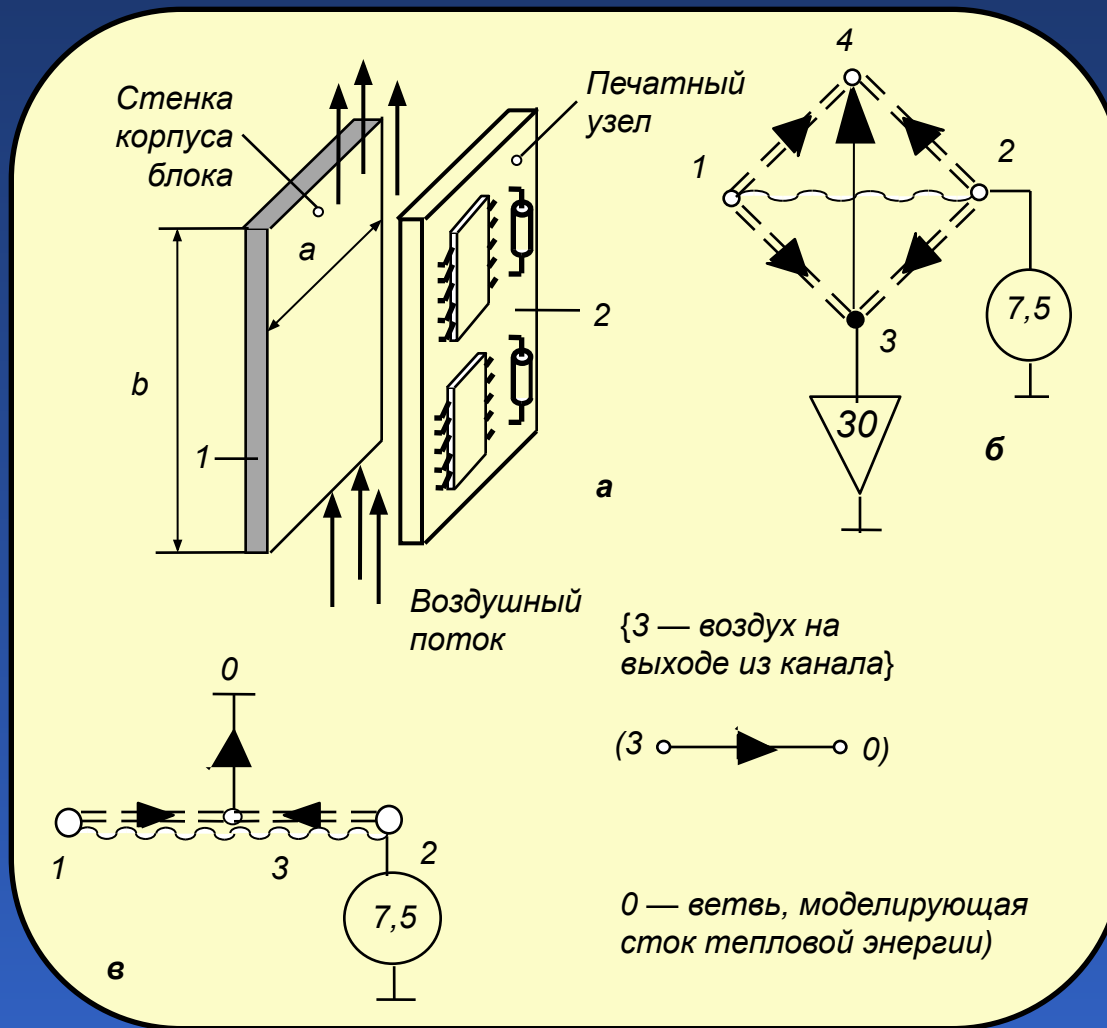


Идеализация конструкции: представим печатный узел в виде условно изотермичного объема (узел № 1); корпус блока примем также в виде условно изотермического объема с заданной температурой (узел № 2).

Тепловая энергия, выделяемая в печатном узле (узел 1), передается с каждой поверхности печатной платы корпусу посредством теплового излучения и конвекции в воздушных прослойках (ветви 1–2), как это показано на предыдущем слайде (слайд 68, рис. б). В случае учета передачи тепловой энергии через элементы крепления печатного узла к корпусу блока (например, через разъем) МТП примет вид, показанный на рисунке выше.

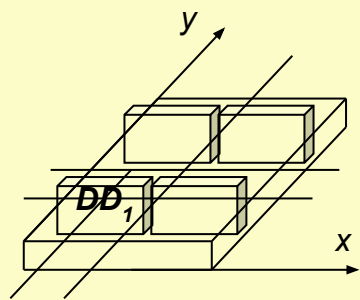
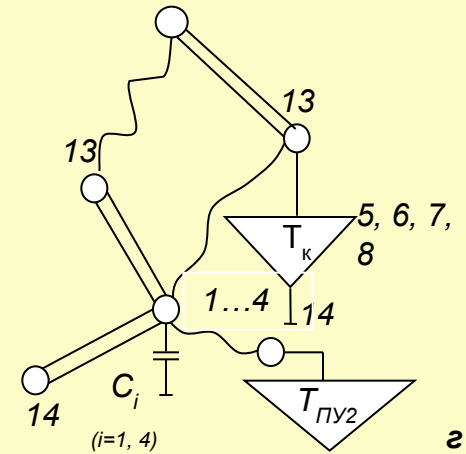
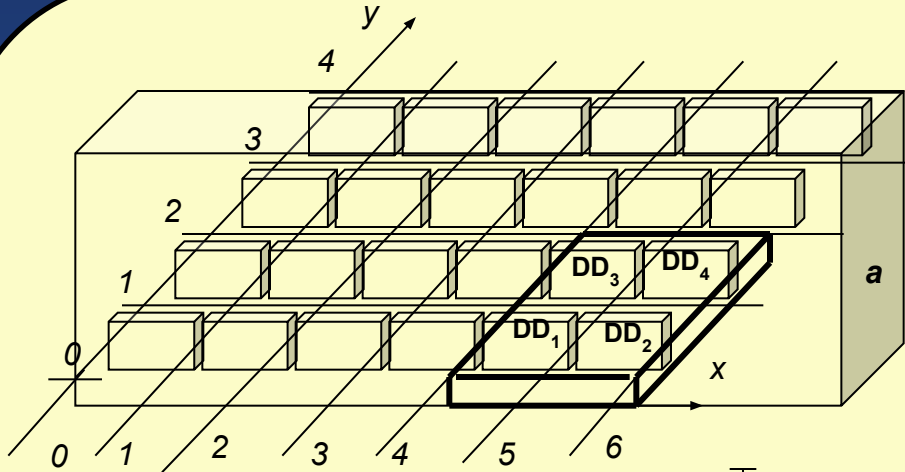
Модели тепловых процессов

Плоский воздушный канал (а) и его тепловая топологическая модель (б и в)

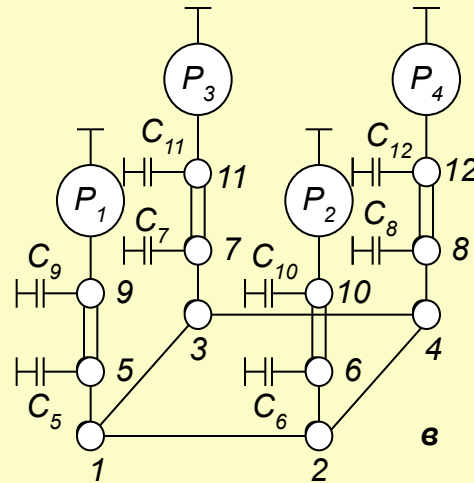


Модели тепловых процессов

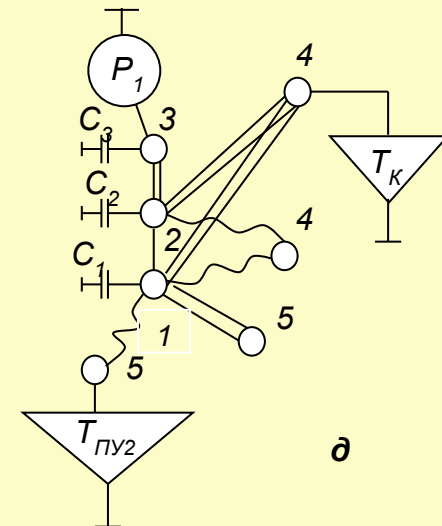
Граф топологической МТП печатного узла, сформированной на основе симметрии: T_K – температура корпуса блока



б



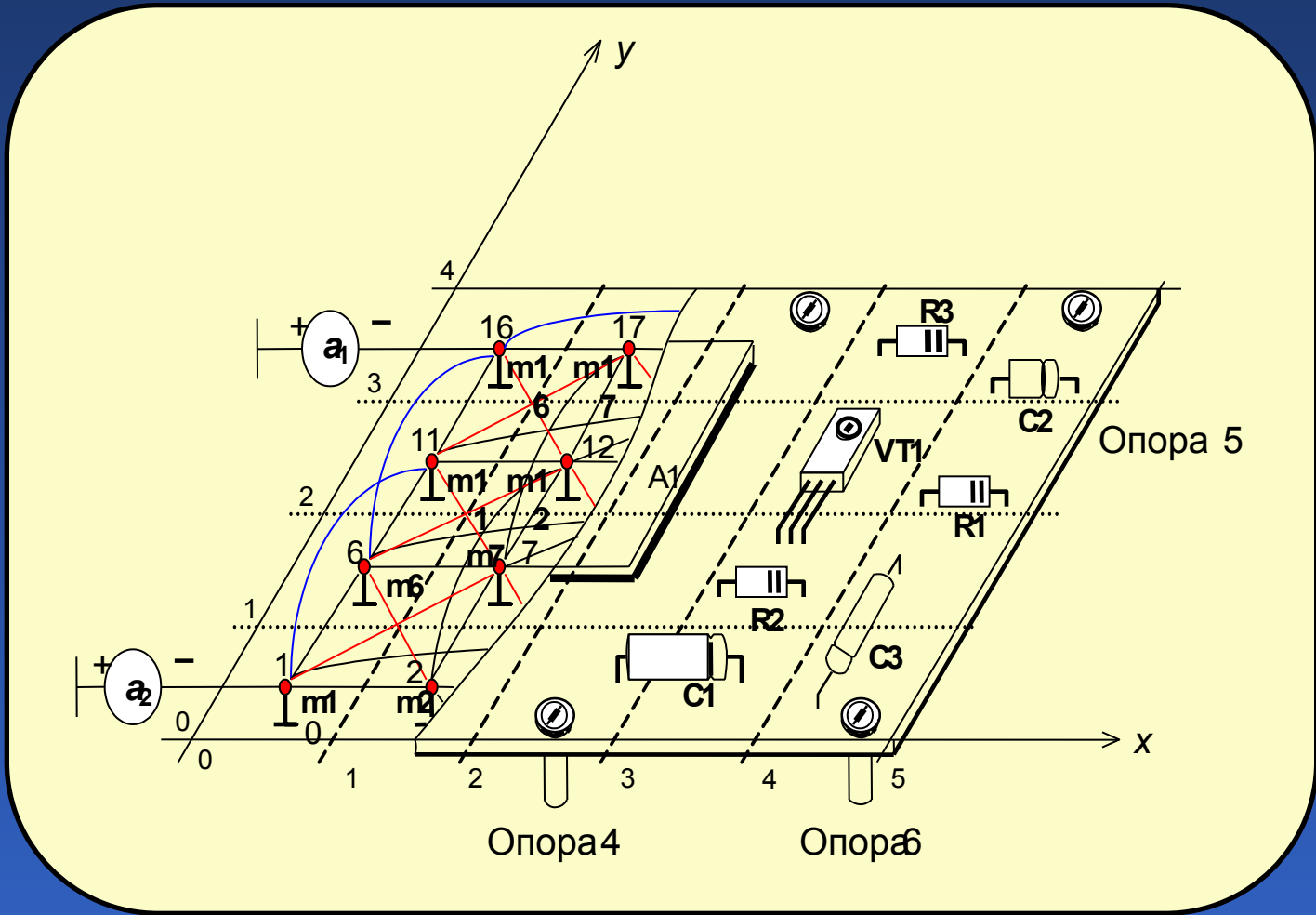
в



д

Модели механических процессов

Фрагмент структуры топологической вибрационной модели печатного узла



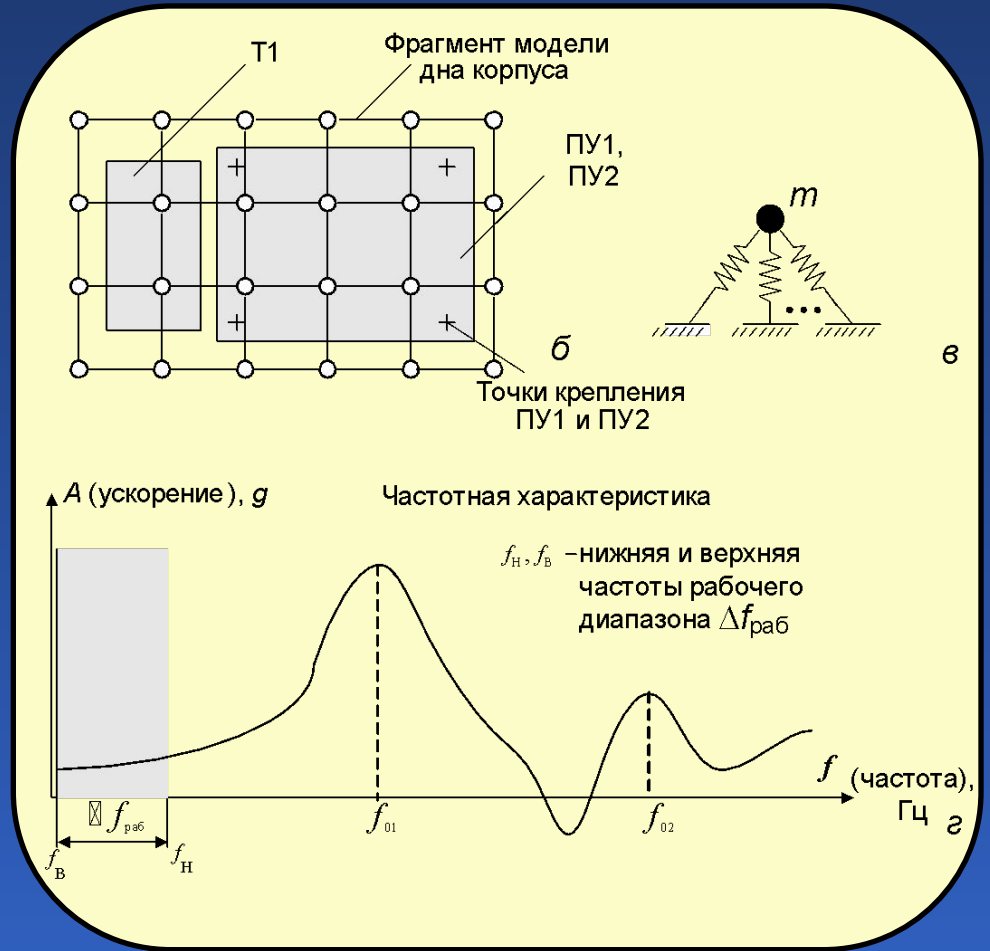
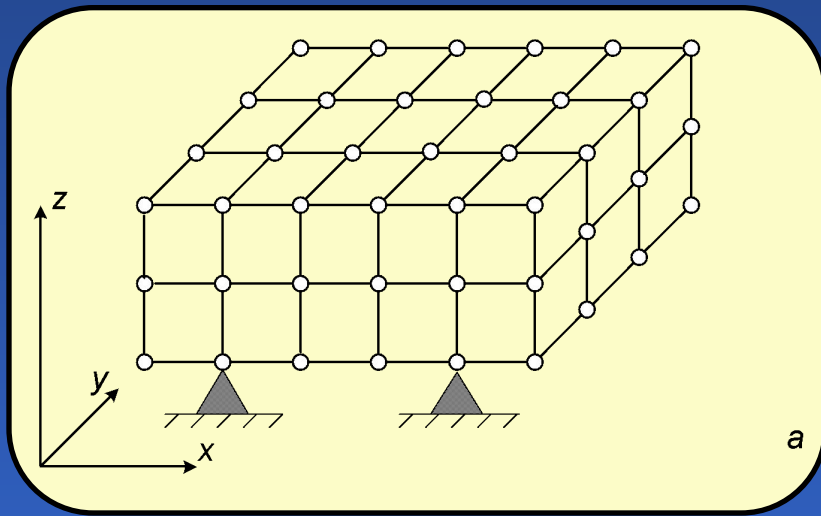
Модели механических процессов

Алгоритм иерархического моделирования механических процессов блока



Модели механических процессов

Пример механической модели блока: *а* – модель корпуса; *б, в* – учет в модели конструктивных узлов и элементов (Т1, ПУ1, ПУ2); *г* – частотная характеристика участка конструкции



Модели безотказности

Показатели безотказности	
Статистическое определение	Вероятностное определение
Вероятность безотказной работы	
<p>Отношение числа исправных в момент времени t объектов к первоначальному числу объектов N:</p> $P^*(t) = \frac{N - n(t)}{N}, \quad Q^*(t) = \frac{n(t)}{N},$ <p>где $n(t)$ – число отказавших объектов к моменту времени; t – вероятность отказа</p>	$P(t) = P(\tau > t)$ $Q(t) = 1 - P(t) = P(\tau < t),$ <p>где t – момент наступления отказа объекта; $P(t) = P(\tau > t)$ – интегральная функция распределения времени наступления отказа</p>
Частота отказов	
<p>Отношение числа отказавших объектов в единицу времени к первоначальному числу объектов</p> $a^*(t) = \frac{n(\Delta t)}{N \cdot \Delta t} = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N \cdot \Delta t} = -\frac{N(t + \Delta t) - N(t)}{N \cdot \Delta t} =$ $= -\frac{p(t + \Delta t) - p(t)}{\Delta t}.$	$a(t) = \lim_{t \rightarrow 0} a^*(t) = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{p(t + t) - p(t)}{t} = -p'(t) = F'(t) = f(t),$ <p>где $f(t)$ – плотность распределения времени наступления отказа</p>

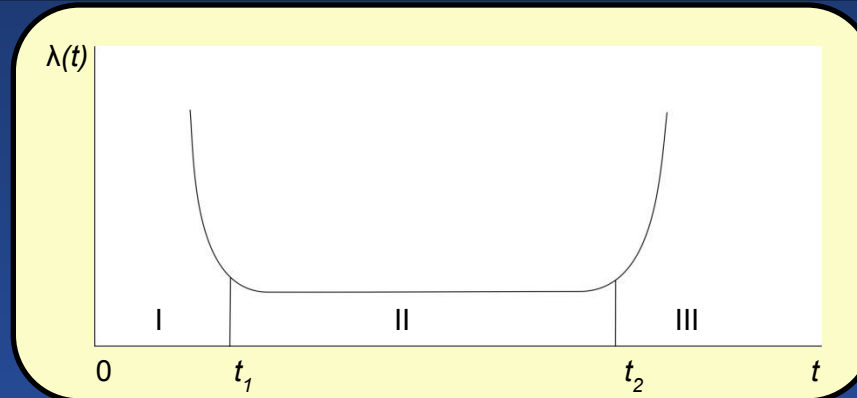
Модели безотказности

Показатели безотказности	
Среднее время безотказной работы	
<p>Отношение общего времени работы объектов до отказа (t_i) к первоначальному числу изделий N:</p> $T^* = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}$	$T = \int_0^{\infty} tf'(t)dt = -\int_0^{\infty} tp(t)dt =$ $= -tp(t)\Big _0^{\infty} + \int_0^{\infty} p(t)dt = \int_0^{\infty} p(t)dt$
Интенсивность отказов	
<p>Отношение числа отказавших в момент t объектов в единицу времени к среднему числу объектов, находящемуся в работоспособном состоянии в данный момент времени</p> $\lambda \cdot (t) = \frac{n(\Delta t)}{(N - n(t))\Delta t} = \frac{N[p(t + \Delta t) - p(t)]}{p(t)N\Delta t} =$ $= -\frac{p(t + \Delta t) - p(t)}{p(t)\Delta t}$	$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \lambda \cdot (t) = -\frac{p'(t)}{p(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$ $\int_0^{\infty} \lambda(t)dt = -\int_0^t \frac{p'(t)}{p(t)} dt$ $p(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$

Расчетные модели

Модели безотказности

Для большинства невосстанавливаемых объектов (прежде всего таких как комплектующие электрорадиоизделия) в качестве показателя безотказности используется интенсивность отказов $\lambda(t)$, типичный вид которой показан на рисунке.



Типичная зависимость интенсивности отказов невосстанавливаемых объектов во времени.

Зависимость имеет три (I–III) характерных участка. Относительно высокая величина $\lambda(t)$ на участке $(0, t_1)$ объясняется наличием большого числа отказов комплектующих элементов и других дефектов. Этот участок времени называют периодом приработки объекта. Второму участку (t_1, t_2) соответствует почти постоянное значение интенсивности отказов. Это участок нормальной работы объекта. Он несоизмеримо более продолжительный, чем участок приработки.

Последний, третий участок, начинающийся за t_2 , дает резкое возрастание интенсивности отказов, что объясняется, как правило, механическим износом деталей и их старением. Заметим, что для периода нормальной работы $\lambda(t) = \text{const}$, поэтому $P(t) = e^{-\lambda t}$,

$$T = 1/\lambda, a = \lambda e^{-\lambda t}.$$

Общая постановка задачи компоновки

Задача компоновки, заключается в распределении элементов схемы (в общем случае – модулей предыдущего уровня иерархии) по монтажным пространствам несущих элементов (в общем случае – по монтажным пространствам несущих элементов данного уровня иерархии). При этом в качестве несущих элементов могут выступать, например, печатные платы, подложки микросборок, кристаллы БИС и т. п. При решении задачи компоновки основным критерием оптимальности является минимизация числа межмодульных связей (разъемных соединений на несущих элементах или числа выводов стандартных корпусов БИС).

В процессе проектирования ПС выделяют два варианта постановки задачи компоновки:

1. Компоновка схем в типовые конструкции, не имеющие схемной унификации, например разрезание электрической принципиальной схемы устройства на части заданного размера (в частности на типовые элементы замены).

2. Компоновка схем в модули заданного схемно-унифицированного набора (называют покрытием), например переход от схемы электрической функциональной к схеме электрической принципиальной, реализованной на наборе интегральных схем (ИС), больших ИС и сверхбольших ИС.

Общая постановка задачи размещения

В общем виде задача размещения заключается в определении оптимального в смысле некоторого критерия положения элементов и связей между ними в монтажном пространстве типовой конструкции ПС. При этом должны соблюдаться конструктивно-технологические ограничения.

Для регулярного монтажного пространства (например для субблока или ПП, на которой предполагается устанавливать однотипные ЭРЭ) задачу размещения можно сформулировать следующим образом.

Имеется множество элементов $E = \{l_i / i = 1, M\}$ и множество соединяющих их цепей $Q = \{q_k / k = 1, K\}$. Монтажное пространство определено множеством фиксированных позиций для установки элементов $T = \{t_j / j = 1, M\}$, причём $M \geq N$. Необходимо найти такое отображение множеств E на множестве T , при котором достигается экстремум целевой функции F .

Главной целью размещения является создание наилучших условий для последующей трассировки.

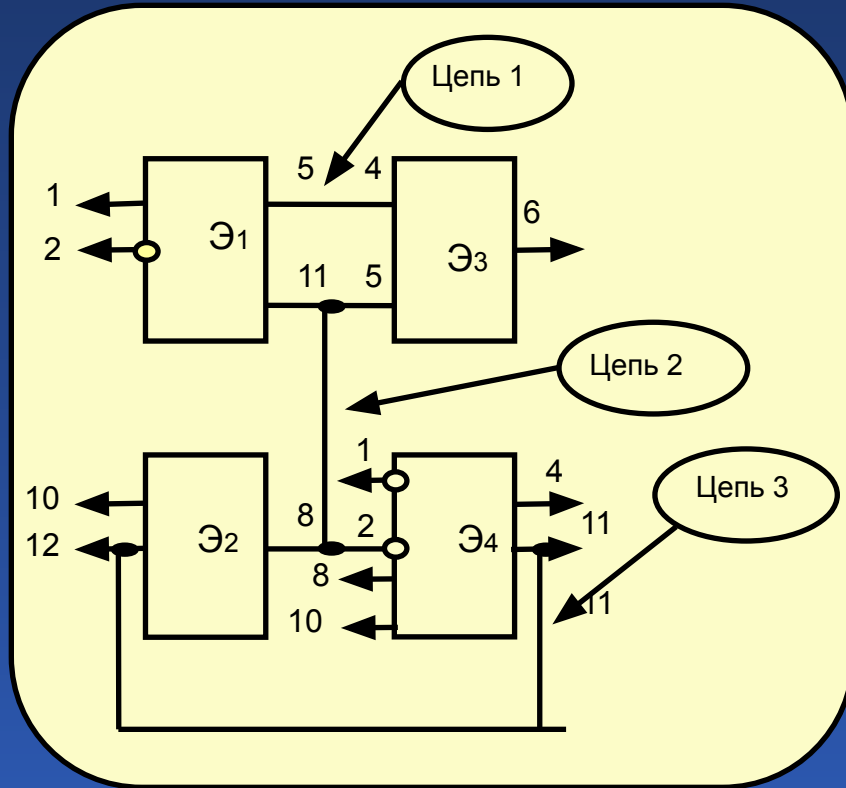
Общая постановка задачи трассировки

Трассировка заключается в определении конкретных геометрических параметров печатного, плёночного или проводного монтажа, реализующего соединения между элементами схемы. При этом исходными данными являются: список цепей, метрические параметры и топологические свойства типовой конструкции и её элементов, результаты решения задачи размещения, по которым находят координаты установки элементов или их выводов. Формальная постановка задачи трассировки и метод её решения в значительной степени зависит от вида монтажа (проводной, плёночный) и конструктивно-технологических ограничений, определяющих метрические параметры и топологические свойства монтажного пространства.

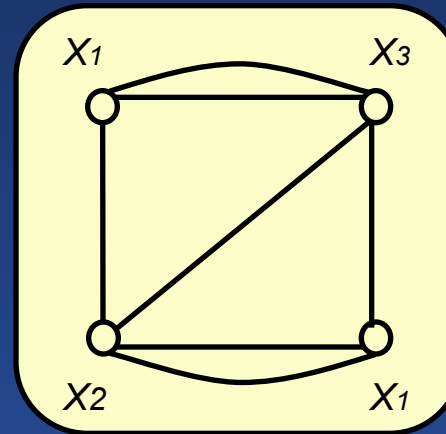
Для основных задач топологического проектирования печатных плат (ПП) в математических моделях, в общем случае, должна быть отражена следующая информация об элементах (или модулях) и монтажном пространстве конструкции:

1. Связанность элементов схемы с точностью до вывода с учётом направления распространения сигнала и фактора неизвестности соединений в пределах одного комплекса (электрической цепи).
2. Топологические свойства элементов, обуславливающие ограничения на построение соединений (порядок расположения выводов, возможность прохода соединений между ними и под элементом и т. п.).
3. Метрические параметры элементов (геометрические размеры, координаты и размеры полей контактов).
4. Метрические параметры конструкции (геометрические параметры печатного монтажа).
5. Топологические свойства конструкции (число слоёв ПП, наличие запрещённых для трассировки зон, вырезов и т. п.).

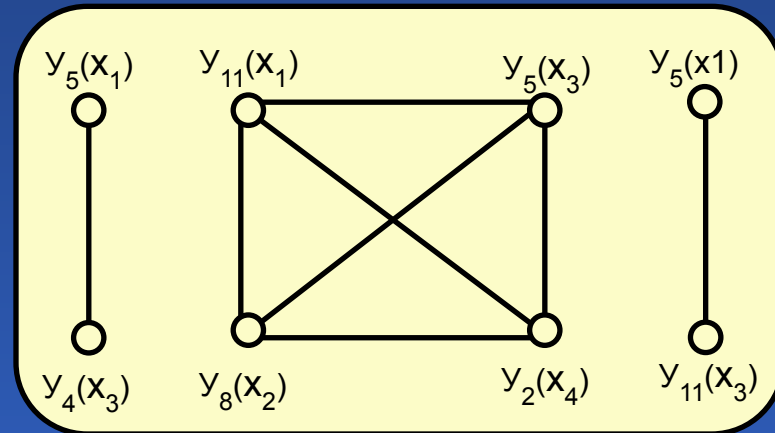
Математические модели схем



Фрагмент принципиальной электрической схемы



Неограф при соответствии элементов схемы вершинам графа



Граф схемы при соответствии вершин графа выводам

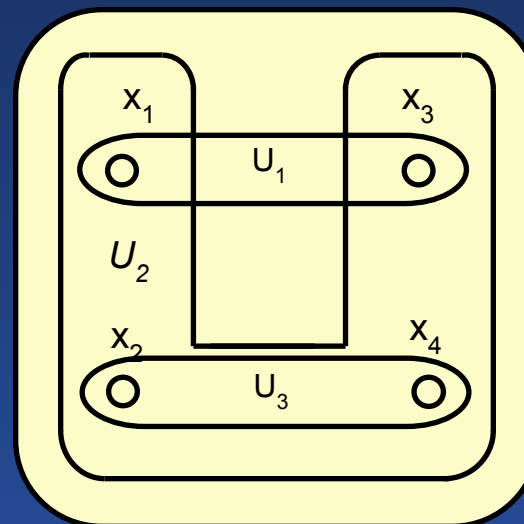
Математические модели схем

$[T] =$

	1	2	3	4	5	6
DD1	1	3	9	4	5	8
DD2	3	6	2	4	0	0
DD3	1	8	7	2	0	0
X1	3	6	5	9	7	2

Элементы

Контакты



Пример матрицы цепей

Гиперграф схемы

$[S] =$

	DD1	DD1	DD3	X1
DD1	0	2	2	3
DD2	2	0	1	3
DD3	2	1	0	2
X1	3	3	2	0

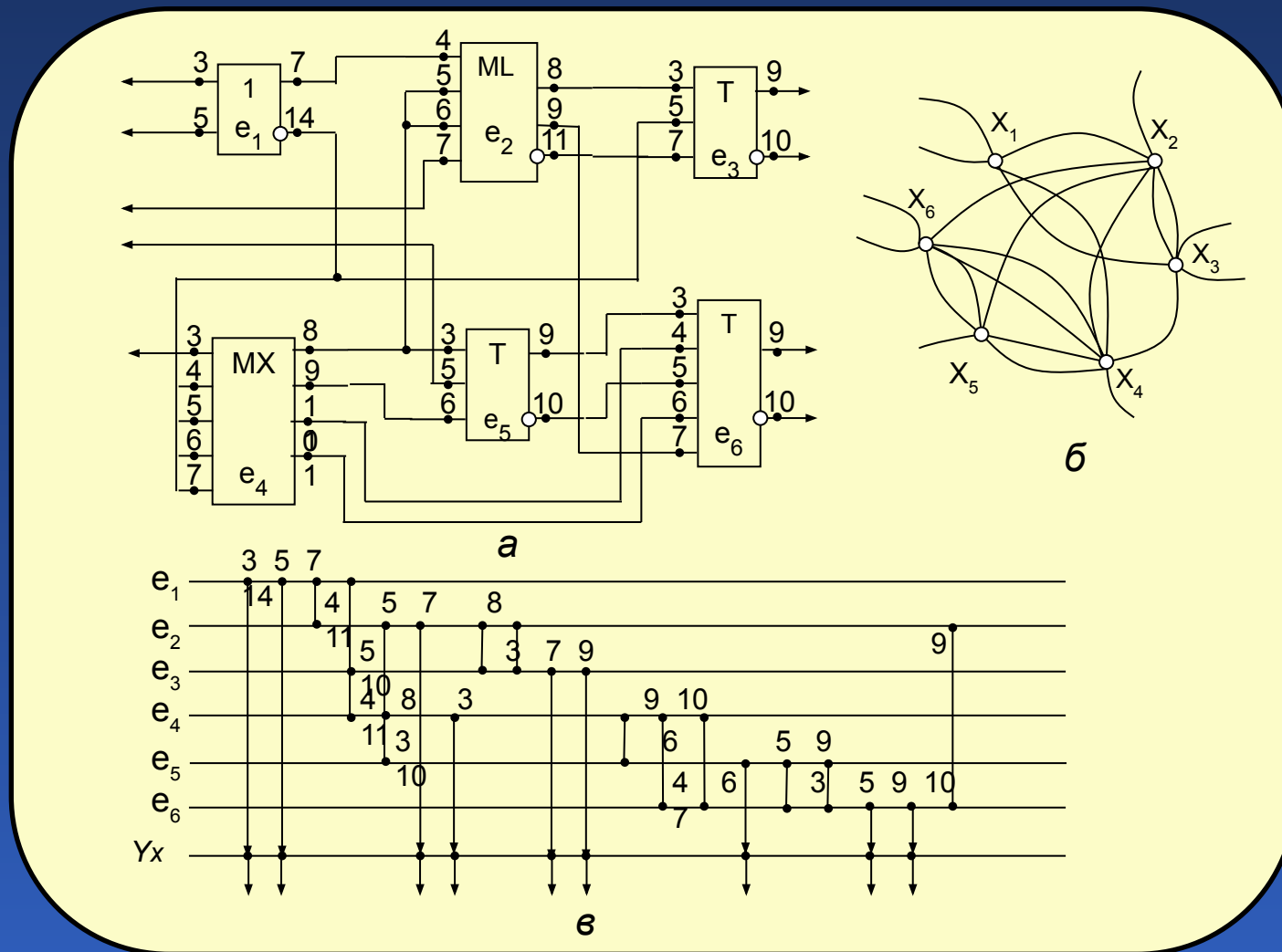
Матрица смежности

$[Q] =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DD1	1	0	1	1	1	0	0	1	1
DD2	0	1	1	1	0	1	0	0	0
DD3	1	1	0	0	0	0	1	1	0
X1	0	1	1	0	1	1	1	0	1

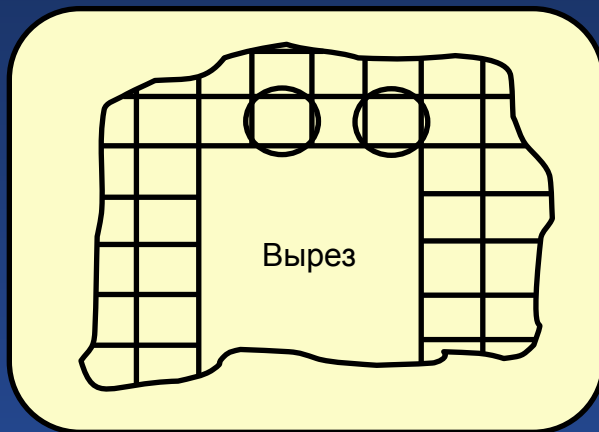
Пример матрицы
элементных комплексов

Математические модели схем

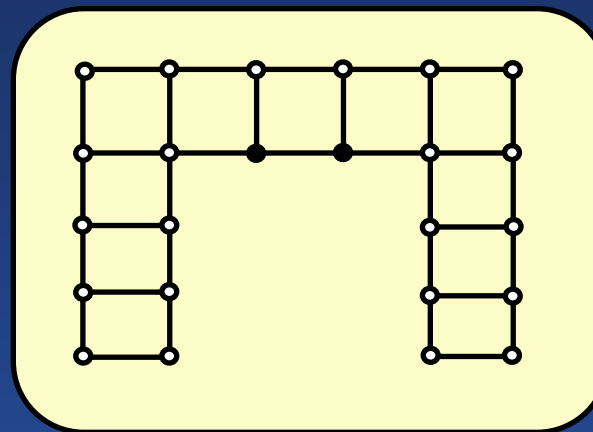


Фрагменты схемы (а), неграфа (б)
и представление цепей схемы лесом (в)

Математические модели монтажного пространства

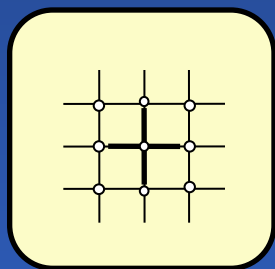


a

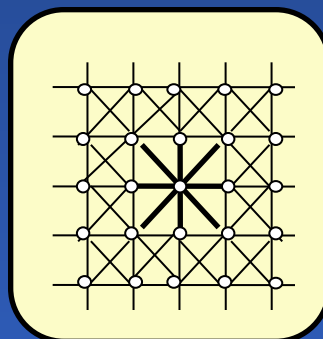


б

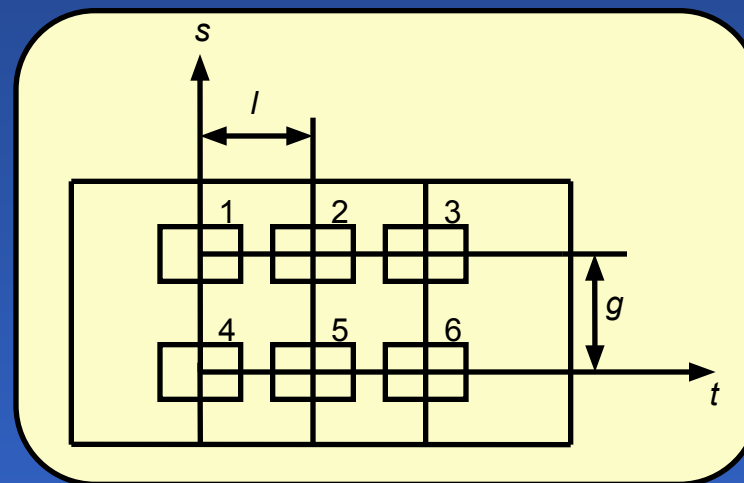
Фрагмент печатной платы (а) и её граф Gr (б)



Разрешенное направление прокладки трасс под 90°

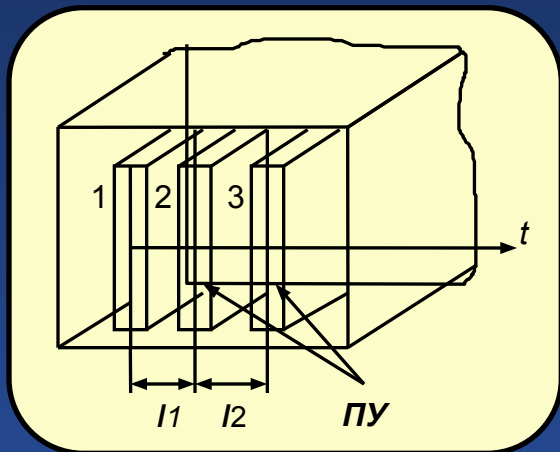


Разрешенное направление прокладки трасс под 45°

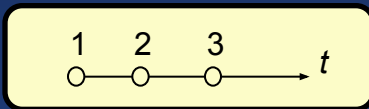


Печатная плата с МСБ ($l = g$)

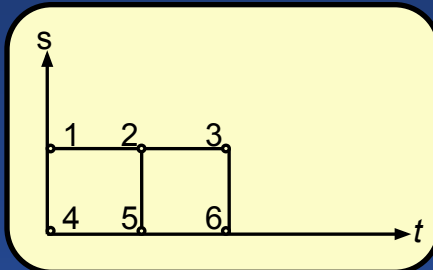
Математические модели монтажного пространства



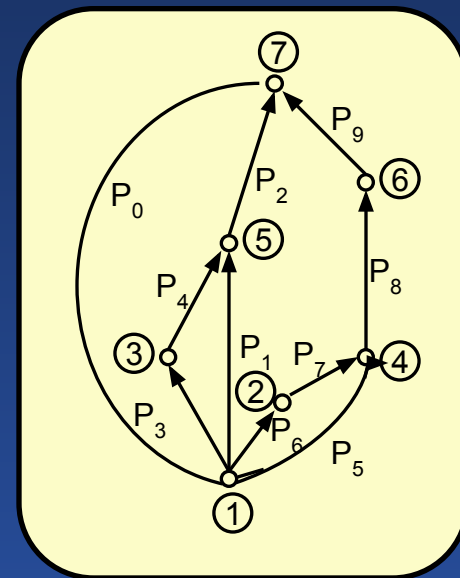
Блок ПС



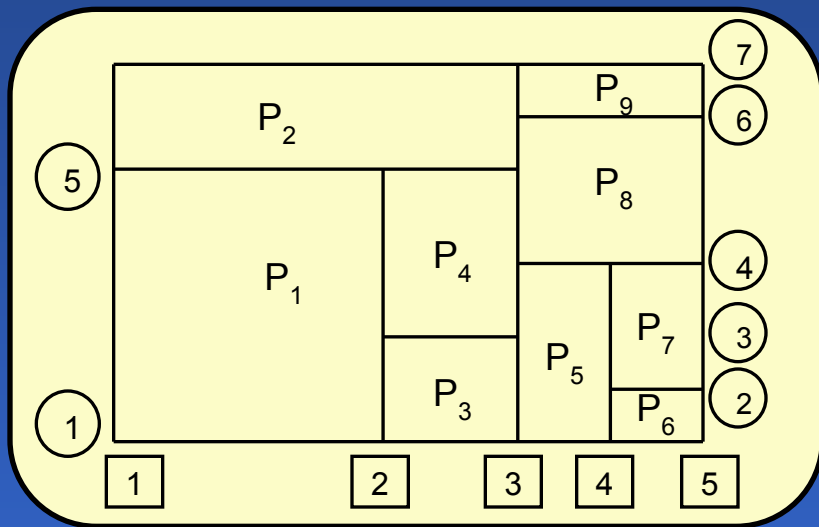
Граф решетки для 3 посадочных мест в блоке



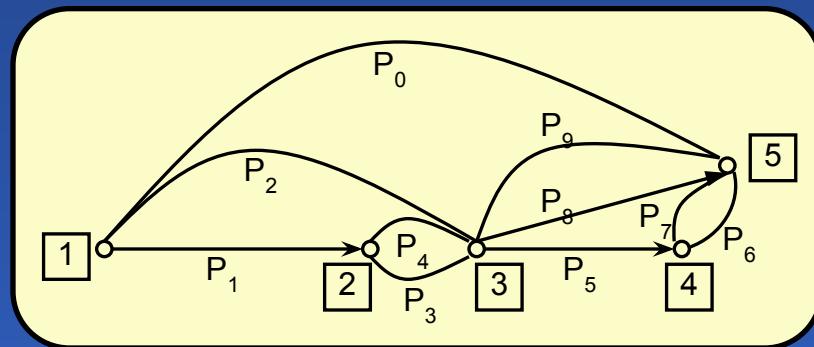
Граф решетки для 6 посадочных мест на плате



а



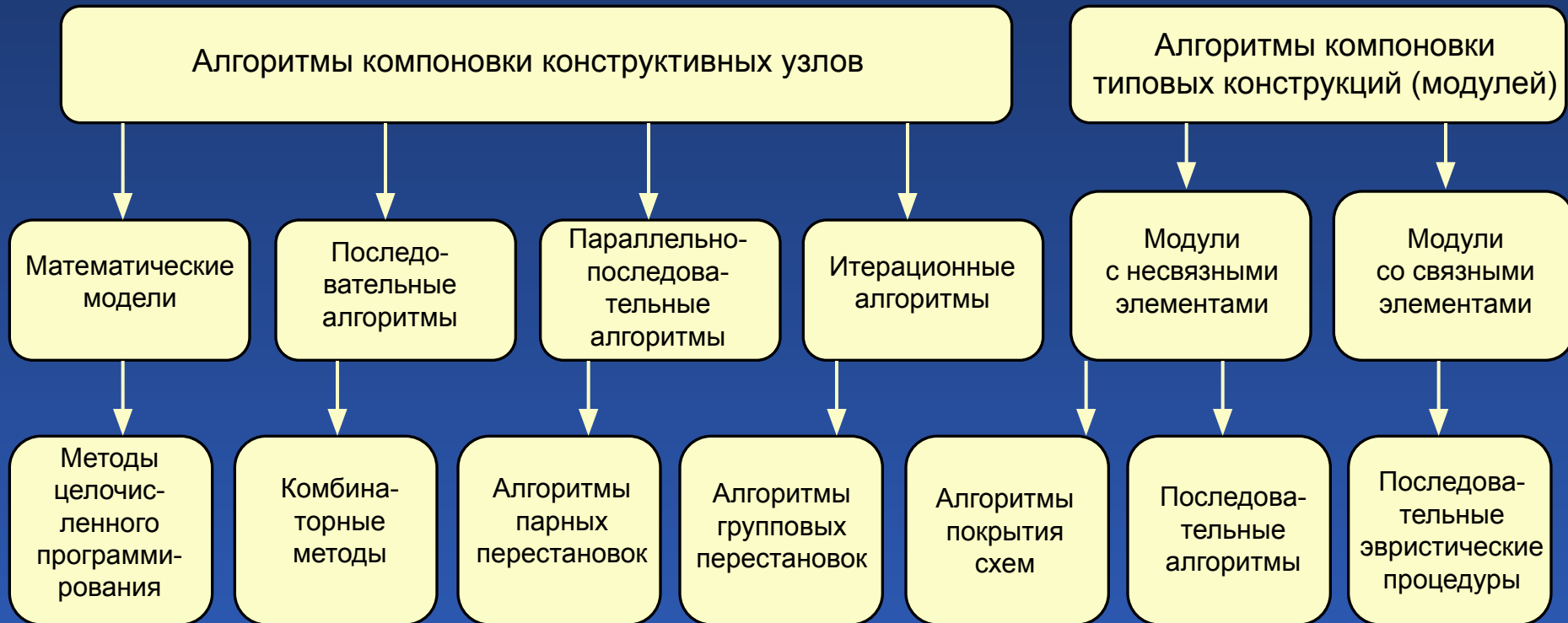
Модель плотной укладки



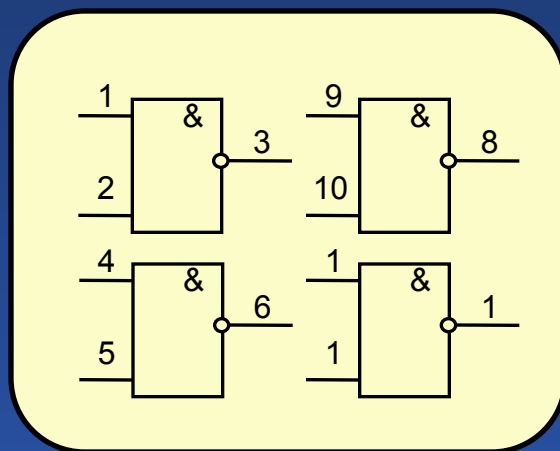
б

Позиционные графы для плотной укладки: а – вертикальный граф; б – горизонтальный граф

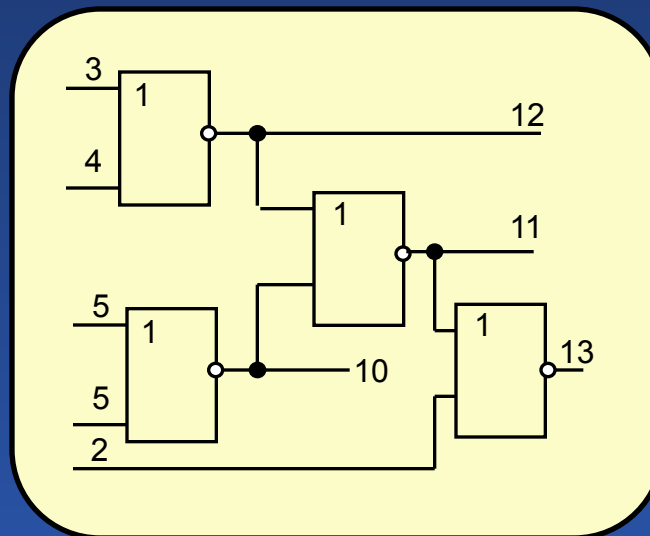
Классификация алгоритмов компоновки



Алгоритмы компоновки



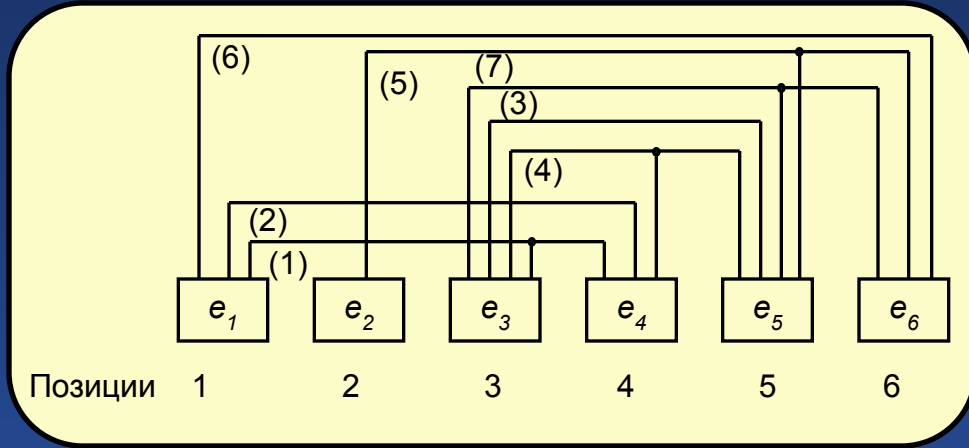
a



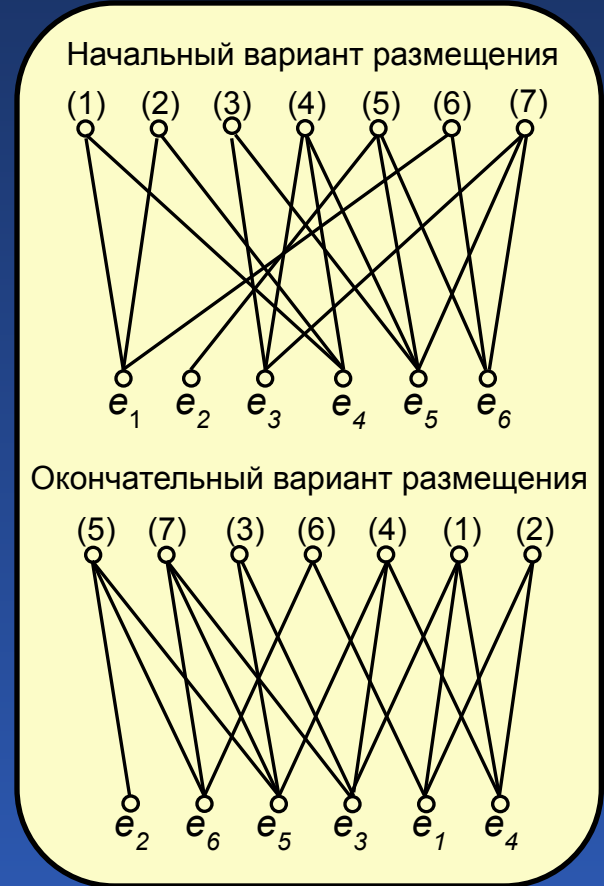
б

Модули, состоящие из несвязанных (*a*) и связанных (*б*) элементов

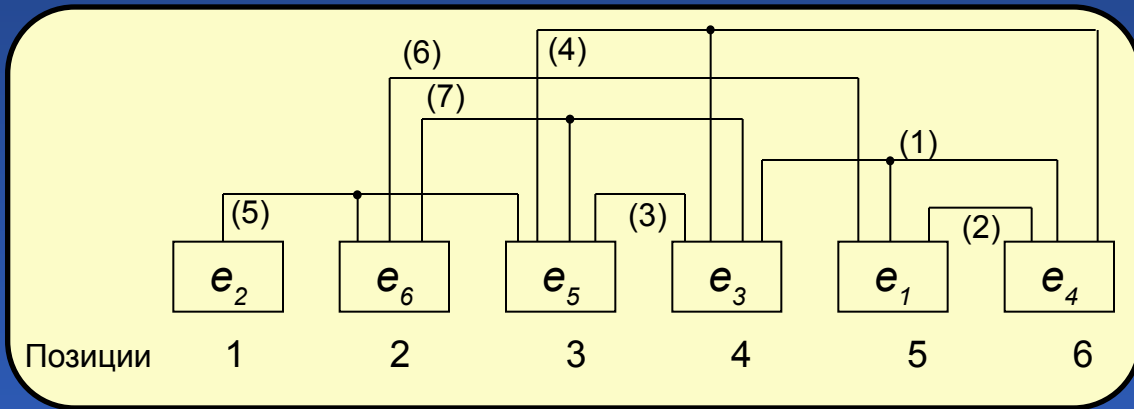
Алгоритмы размещения



а



б



в

Пример размещения элементов и трасс некоторого фрагмента электрической схемы на ДРП:
 а – начальный вариант размещения; б – двудольный граф;
 в – окончательный вариант размещения

Классификация алгоритмов размещения

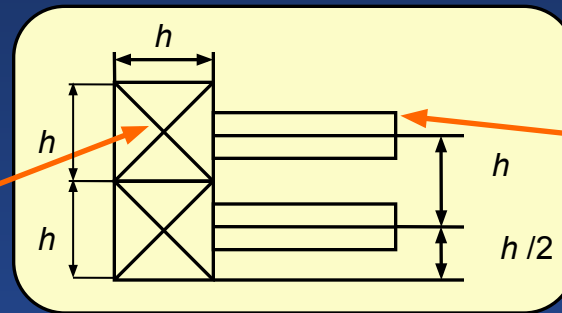


Классификация алгоритмов трассировки



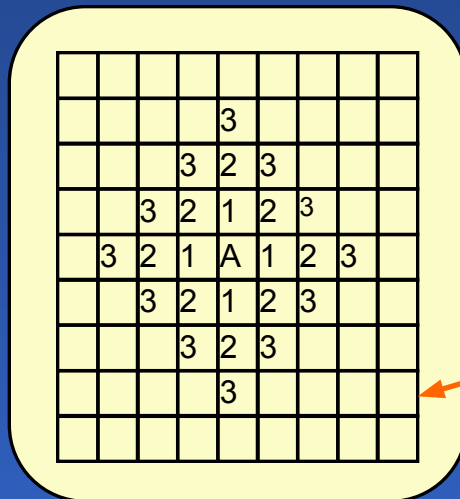
Алгоритмы трассировки печатного монтажа

Ячейка дискретного рабочего поля (ДРП)



Печатный проводник

Схема плоскости монтажа при использовании алгоритма Ли

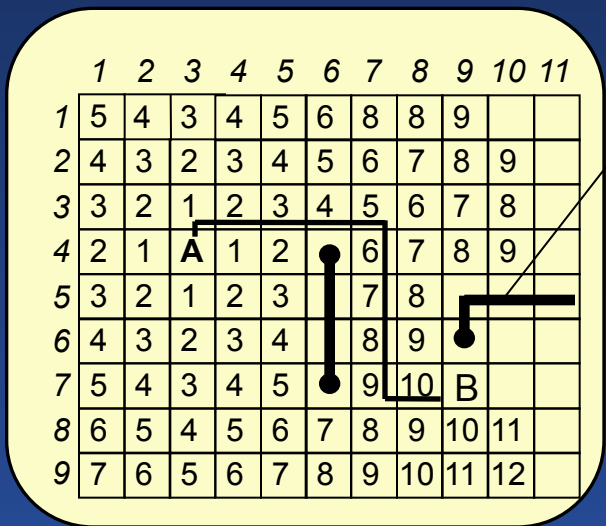


ДРП

Процесс распространения волны:

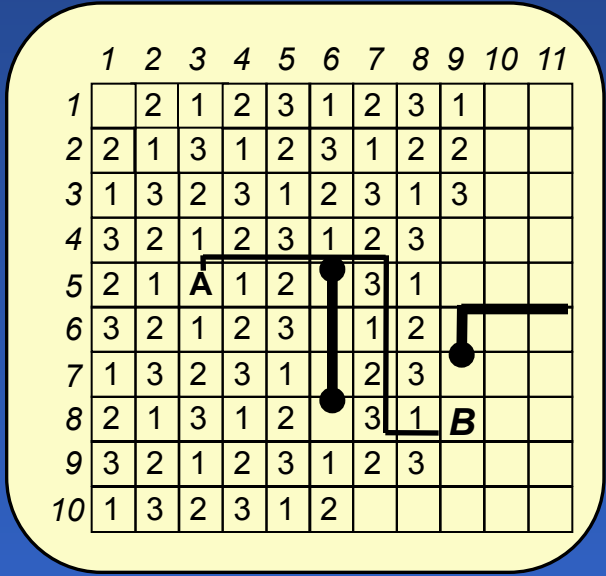
- «1» – 1-й фронт волны;
- «2» – 2-й фронт волны;
- «3» – 3-й фронт волны

Алгоритмы трассировки печатного монтажа



Запрещенные ячейки ДРП для трассировки

Построение минимального пути в ортогональной метрике: *A* – источник волны; *B* – приемник волны; способ соседства ячеек – «общее ребро»; предпочтительные направления – вверх, вправо, вниз, влево



Пример работы алгоритма кодирования по модулю «3»: *A* – источник волны; *B* – приемник волны; предпочтительные направления (правила приоритетов) – влево, вверх, вправо, вниз

Алгоритмы трассировки печатного монтажа

Пример распространения встречных волн

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		1	3	1	2						
2	1	3	2	3	1	2					
3	3	2	1	2	3						
4	2	1	'4'	1	2	3	1	7	6		
5	3	2	1	2	3	1	7	6	8	6	7
6		3	2	3	1	7	6	8	7	8	6
7						6	8	7	6	7	8
8					6	8	7	6	6	6	7
9						6	8	7	'9'	7	8
10							6	8	7	8	6

"4' – источник; '9' – цель;

'5' – препятствие; волны:

от '4' – 1, 2, 3, 1, 2, 3 ...

от '9' – 6, 7, 8, 6, 7, 8 ...

Алгоритм метода:

1-й шаг. от '4' → 1 затем от '9' → 6;

2-й шаг. от '4' после 1 → 2, затем от '9' после 6 → 7 и т. д.

Проведение трассы осуществляется в двух направлениях: от места встречи к цели и к источнику.

Пример модифицированного метода встречной волны

Первое расширение волны:

от источника '1' и от цели '6'

от источника '2' и от цели '7'.

Анализируется по 9 ячеек.

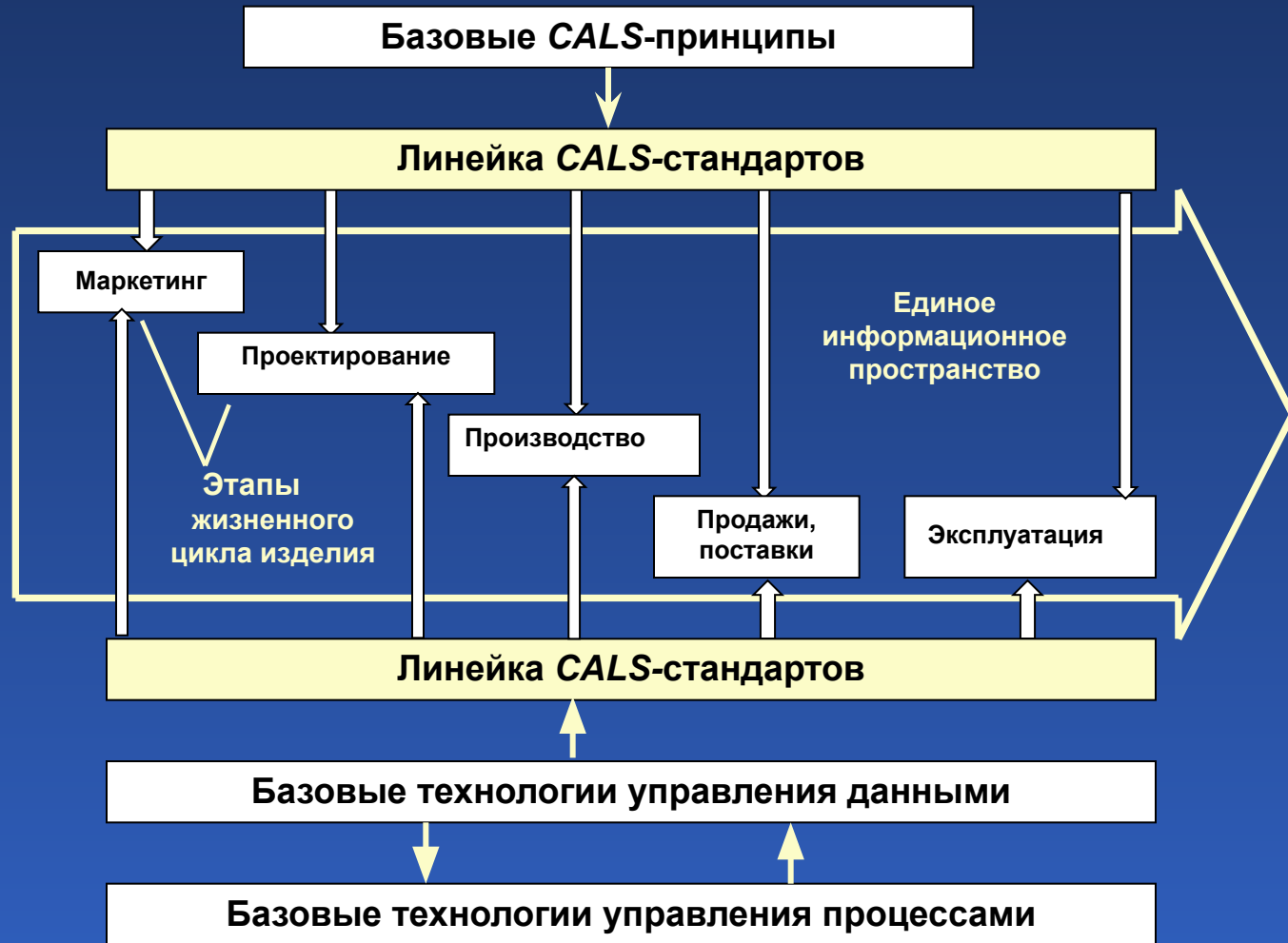
Второе расширение:

аналогично, только от источника '2',

'3', '1' и от цели '7', '8', '6' и т. д.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1											
2						6	8	7	8	6	
3						8	7	6	7	8	
4						7	6	9	6	7	
5						8	7	6	6	8	
6						6	8	7	8	6	
7	2	1	3	1	2	3					
8	1	3	2	3	1	2					
9	3	2	1	2	3	1					
10	2	1	4	1	2	3					
11	3	2	1	2	3	1					
12	1	3	2	3	1	2					
13	2	1	3	1	2	3					

Концептуальная модель CALS



Классификация данных в связи со стадиями жизненного цикла продукции

Данные	Стадии жизненного цикла (ЖЦ)				
	Маркетинг	Проектирование и разработка продукции, планирование и разработка процессов закупки	Производство или предоставление услуг, упаковка и хранение	Реализация	Установка и ввод в эксплуатацию, техническая помощь и обслуживание, эксплуатация, утилизация
Данные о продукции (изделии)	Маркетинговая (концептуальная) модель продукции	Конструкторская модель продукции	Производственно-технологическая модель продукции	Сбытовая модель продукции (цены, условия продаж и пр.)	Данные, необходимые для эксплуатации, ремонта и обслуживания изделия, данные о ходе эксплуатации
Данные о процессах в ходе ЖЦ продукции	Модель процессов маркетинга	Модель процессов проектирования, разработки, планирования, закупок и т. д.	Модель процессов производства	Модель процессов продаж	Модель процессов эксплуатации, ремонта и обслуживания
Данные о среде, в которой происходят стадии ЖЦ	Модели рынка и его сегментов	Модель инженерно-управленческой среды	Модель производственно-технологической среды	Модель среды сбыта (продаж)	Модель эксплуатационной среды

Этапы жизненного цикла промышленных изделий
и системы их автоматизации



Основные компоненты CALS

CAD – computer aided design (инструментальный комплекс технических и программных средств автоматизированного проектирования изделий);

CAM – computer aided manufacturing (системы автоматизации технологической подготовки производства);

CAE – computer aided engineering (системы инженерного анализа);

PDM – product data management (мощные средства хранения и управления данными о проекте);

MRP – manufacturing requirement planning (системы управления производством);

ERP – enterprise resource planning (системы планирования и управления предприятием);

SCM – supply chain management (системы управления цепочками поставок);

CPC – collaborative product commerce (системы совместного электронного бизнеса);

S&SM – sales and service management (системы управления продажами и обслуживанием);

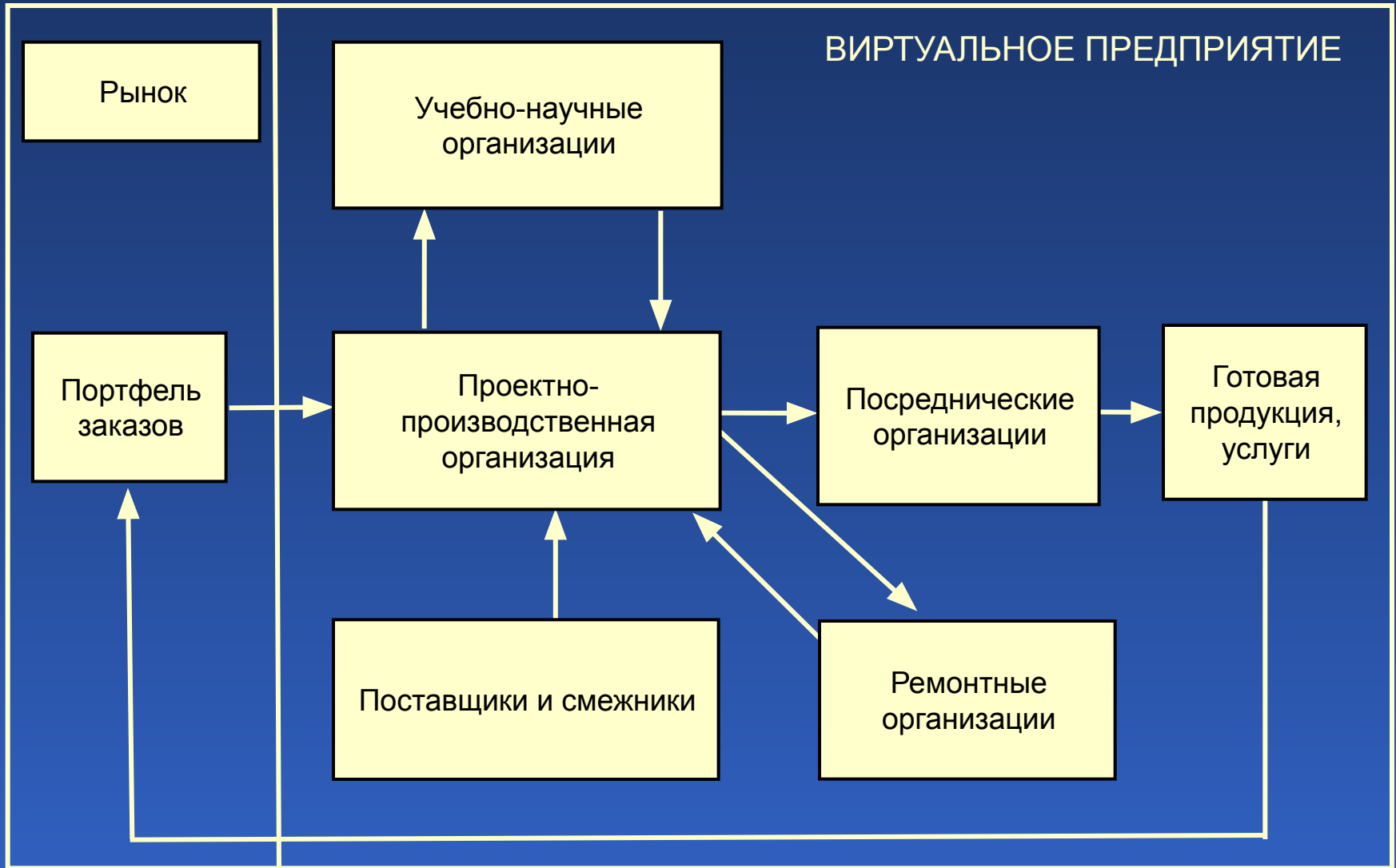
SCADA – system control and data acquisition (система телеметрии и телеуправления);

CNC – computer numerical control (системы компьютерного управления);

CRM – customers relations management (управление взаимоотношений с клиентами);

MES – manufacturing executing system (производственная исполнительная система).

Упрощенная схема функционирования виртуального предприятия



Логическая структура базы данных на изделие
в соответствии с идеологией стандарта ISO 10303 STEP



Разделы и основы тома стандарта ISO 10303

Descriptions methods	Методы описания
Part 1 (IS): Overview and fundamental principles	Общий обзор и основополагающие принципы
Part 11 (IS): EXPRESS language reference manual	Справочное руководство по языку EXPRESS
Part 12 (IS): The EXPRESS-I language reference manual	Справочное руководство по языку EXPRESS-I
Implementation methods	Методы реализации
Part 21 (IS): Clear text encoding of the exchange structure	Структура текстового обменного файла
Part 22 (IS): Standard data access interface specification	Спецификация программного интерфейса доступа к данным
Part 23 (IS): C++ language binding to the standard data access interface	Привязка C++ к программному интерфейсу доступа к данным
Part 24 (CD): C language binding to the standard data access interface	Привязка C к программному интерфейсу доступа к данным
Part 26 (WD): Interface definition language binding to the standard data access interface	Язык описания программного интерфейса доступа к данным
Conformance testing methodology and framework	Структура и методология проверки на совместимость
Part 31 (IS): General concepts	Общие концепции
Part 32 (IS): Requirements on testing laboratories and clients	Требования к испытательным лабораториям и клиентам
Part 34 (IS): Conformance testing methodology and framework: Abstract test methods for application protocol implementations	Методы тестирования для реализаций протоколов применения
Part 35 (NWI): Abstract test methods for SDAI implementations	Абстрактные методы тестирования для реализаций программного интерфейса SDAI

Разделы и основы тома стандарта ISO 10303

Integrated generic resources	Общие интегрированные ресурсы
Part 41 (IS): Fundamentals of product description and support	Принципы описания и поддержки продукта
Part 42 (IS): Geometric and topological representation	Геометрическое и топологическое представление
Part 43 (IS): Representation structures	Структуры представления
Part 44 (IS): Product structure configuration	Конфигурация структуры продукта
Part 45 (IS): Materials	Материалы
Part 46 (IS): Visual presentation	Визуальное представление
Part 47 (IS): Shape variation tolerances	Допуски на вариации форм
Part 49 (IS): Process structure and properties	Структура и свойства процесса
Integrated application resource	Интегрированные прикладные ресурсы
Part101 (IS): Draughting	Черчение
Part 104 (IS): Finite element analysis	Анализ методом конечных элементов
Part 105 (IS): Kinematics	Кинематика
Application Protocols	Прикладные протоколы
Part 201 (IS): Explicit draughting	Прямое черчение
Part 202 (IS): Associative draughting	Ассоциативное черчение
Part 203 (IS): Configuration controlled design	Проектирование на основе заданной конфигурации
Part 204 (CD): Mechanical design using boundary representation	Проектирование механической конструкции на основе граничного представления

Разделы и основы тома стандарта ISO 10303

Application Protocols	Прикладные протоколы
Part 205 (CD): Mechanical design using surface representation	Проектирование механической конструкции на основе поверхностного представления
Part 207 (IS): Sheet metal die planning and design	Проектирование штампов для листового металла
Part 208 (WD): Life cycle management – Change process	Управление жизненным циклом – изменение процесса
Part 209 (CD): Composite and metallic structural analysis and related design	Структурный анализ и проектирование изделий из металла и композиционных материалов
Part 210 (CD): Electronic assembly, interconnect and packaging design	Проектирование межсхемных соединений и упаковки электронных изделий
Part 212 (IS): Electrotechnical design and installation	Проектирование и установка электротехнических устройств
Part 213 (DIS): Numerical control process plans for machined parts	Программы ЧПУ для обработки деталей
Part 214 (IS): Core Data for Automotive Mechanical Design Processes	Базовые данные для проектирования автомобилей
Part 215 (WD): Ship arrangement	Схемы судов
Part 216 (WD): Ship moulded forms	Формы фасонных поверхностей для судовых корпусов
Part 217 (CD): Ship piping	Судовые трубопроводы
Part 218 (CD): Ship structures	Судовые надстройки
Part 220: Process planning, manufacture, and assembly of layered electronic products	Проектирование, производство и сборка многослойных печатных плат

Разделы и основы тома стандарта ISO 10303

Application Protocols	Прикладные протоколы
Part 221 (CD): Functional data and their schematic representation for process plant	Функциональные данные и их схематическое представление для технологических процессов
Part 222 (WD): Exchange of product data for composite structures	Обмен данными об изделиях из композиционных материалов
Part 223 (WD): Exchange of design and manufacturing product information for casting parts	Обмен конструкторской и производственной информацией по литым изделиям
Part 224 (IS): Mechanical product definition for process plans using machining features	Описание механических изделий в технологических процессах с использованием станочного оборудования
Part 225 (IS): Building elements using explicit shape representation	Конструктивные элементы с явным представлением формы
Part 226 (WD): Ship mechanical systems	Судовые механические системы
Part 227 (IS): Plant spatial configuration	Пространственная конфигурация завода
Part 228: Building services: Heating, ventilation, and air conditioning	Строительство: отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха
Part 229: Exchange of design and manufacturing product information for forged parts	Обмен конструкторской и производственной информацией по кованным деталям
Part 230 (WD): Building structural frame: Steelwork	Строительные каркасы: стальные конструкции
Part 231 (CDC): Process engineering data: process design and process specification of major equipment	Технологические данные: технологическое проектирование и технологические спецификации основного оборудования
Part 232 (NWI): Technical data packaging core information and exchange	Упаковка и обмен техническими данными

Разделы и основы тома стандарта ISO 10303

Abstract test suite	Набор абстрактных тестов
Part 301: Explicit draughting	Прямое черчение
Part 302 (WD): Associative draughting	Ассоциативное черчение
Part 303 (WD): Configuration controlled design	Проектирование на основе заданной конфигурации
Part 304 (IS): Mechanical design using boundary representation	Проектирование механической конструкции на основе граничного представления
Part 305: Mechanical design using surface representation	Проектирование механической конструкции на основе поверхностного представления
Part 307 (IS): Sheet metal die planning and design	Проектирование штампов для листового металла
Part 308: Life cycle management – Change process	Управление жизненным циклом – изменение процесса
Part 309: Composite and metallic structural analysis and related design	Структурный анализ и проектирование изделий из металла и композиционных материалов
Part 310: Electronic assembly, interconnect, and packaging design	Проектирование межсхемных соединений и упаковки электронных изделий
Part 312: Electrotechnical design and installation	Проектирование и установка электротехнических устройств
Part 313: Numerical control process plans for machined parts	Программы ЧПУ для обработки деталей
Part 314: Core data for automotive mechanical design	Базовые данные для проектирования автомобилей
Part 315: Ship arrangement	Схемы судов
Part 316: Ship moulded forms	Формы фасонных поверхностей для судовых корпусов
Part 317: Ship piping	Судовые трубопроводы

Разделы и основы тома стандарта ISO 10303

Abstract test suite	Набор абстрактных тестов
Part 318: Ship structures	Судовые надстройки
Part 320: Process planning, manufacture, and assembly of layered electronic products	Проектирование, производство и сборка многослойных печатных плат
Part 321: Functional data and their schematic representation for process plant	Функциональные данные и их схематическое представление для технологических процессов
Part 322: Exchange of product data for composite structures	Обмен данными об изделиях из композиционных материалов
Part 323: Exchange of design and manufacturing product information for casting parts	Обмен конструкторской и производственной информацией по литым изделиям
Part 324 (IS): Mechanical product definition for process plans using machining features	Описание механических изделий в технологических процессах с использованием станочного оборудования
Part 325: Building elements using explicit shape representation	Конструктивные элементы с явным представлением формы
Part 326: Ship mechanical systems	Судовые механические системы
Part 327: Plant spatial configuration	Пространственная конфигурация завода
Part 328: Building services: Heating, ventilation, and air conditioning	Строительство: отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха
Part 329: Exchange of design and manufacturing product information for forged parts	Обмен конструкторской и производственной информацией по кованным деталям
Part 330: Building structural frame: Steelwork	Строительные каркасы: стальные конструкции

Разделы и основы тома стандарта ISO 10303

Abstract test suite	Набор абстрактных тестов
Part 331: Process engineering data: Process design and process specification of major equipment	Технологические данные: технологическое проектирование и технологические спецификации основного оборудования
Part 332: Technical data packaging core information and exchange	Упаковка и обмен техническими данными
Application interpreted construct	Элементы, интерпретируемые прикладными средствами
Part 501 (IS): Edge-based wireframe	Сетчатые конструкции, ограниченные плоскостями
Part 502 (IS): Shell-based wireframe	Сетчатые конструкции, ограниченные поверхностями
Part 503 (IS): Geometrically bounded 2D wireframe	Геометрически ограниченные 2D-сетчатые поверхности
Part 504 (IS): Draughting annotation	Аннотирование чертежа
Part 505 (IS): Drawing structure and administration	Структура и реквизиты чертежей
Part 506 (IS): Draughting elements	Чертежные элементы
Part 507 (IS): Geometrically bounded surface	Геометрически заданные поверхности
Part 508 (IS): Non-manifold surface	Поверхности, описанные не в <i>BREPS</i> -форме
Part 509 (IS): Manifold surface	<i>BREPS</i> -поверхности
Part 510 (IS): Geometrically bounded wireframe	Геометрически ограниченные сетчатые поверхности

Разделы и основы тома стандарта ISO 10303

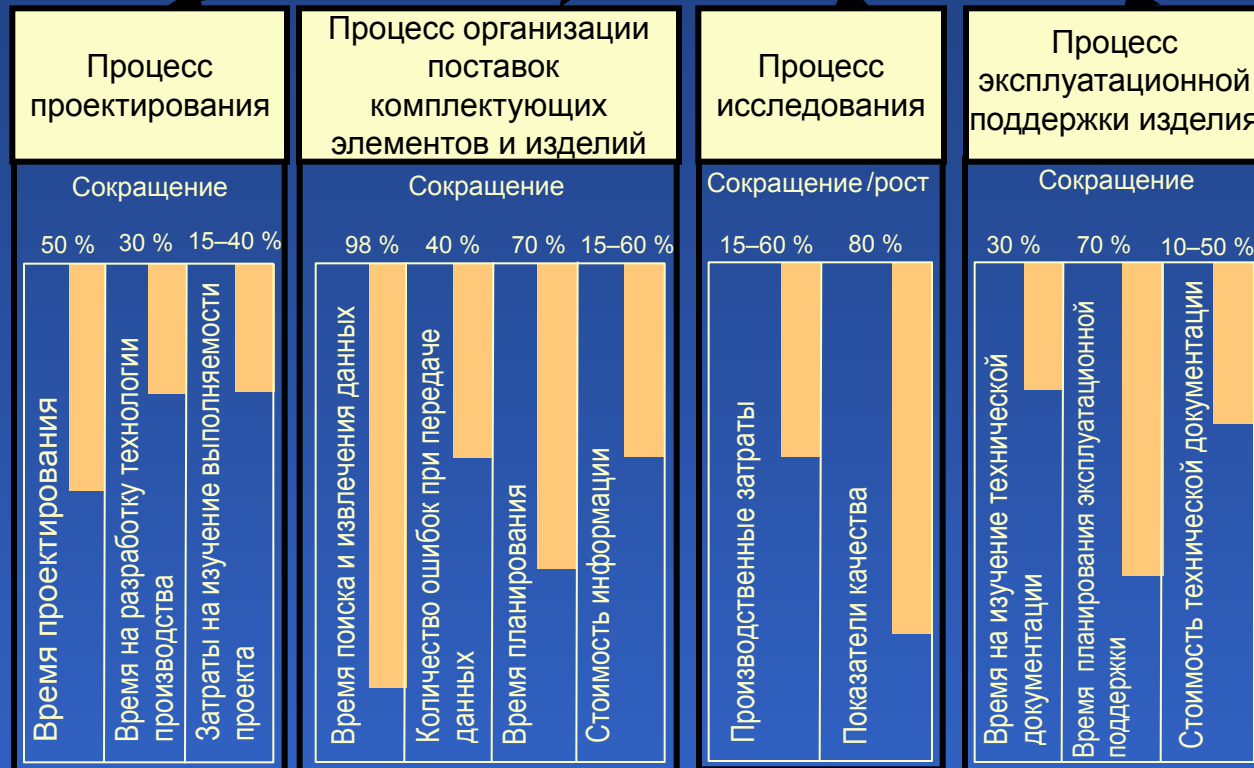
Application interpreted construct	Элементы, интерпретируемые прикладными средствами
Part 511 (IS): Topologically bounded surface	Топологически ограниченные сетчатые поверхности
Part 512 (IS): Faceted boundary representation	Многогранное граничное представление
Part 513 (IS): Elementary boundary representation	Элементарное граничное представление
Part 514 (IS): Advanced boundary representation	Сложное граничное представление
Part 515 (IS): Constructive solid geometry	Конструкторская твердотельная геометрия
Part 516 (CD): Mechanical design context	Контекст механического проектирования
Part 517 (IS): Mechanical design geometric presentation	Геометрическое представление в механическом проектировании
Part 518 (CD): Mechanical design shaded representation	Штрихованное представление в механическом проектировании
Part 519 (IS): Associative draughting elements	Элементы ассоциативного черчения
Part 520 (CD): Associative draughting elements	Элементы ассоциативного черчения

Примечание. Обозначения статуса документов: *IS* – *International Standard*; *DIS* – *Draft International Standard*; *CD* – *Committee Draft*; *CDC* – *Committee Draft for Comments only* – проект только для комментариев; *In DV* – в разработке.

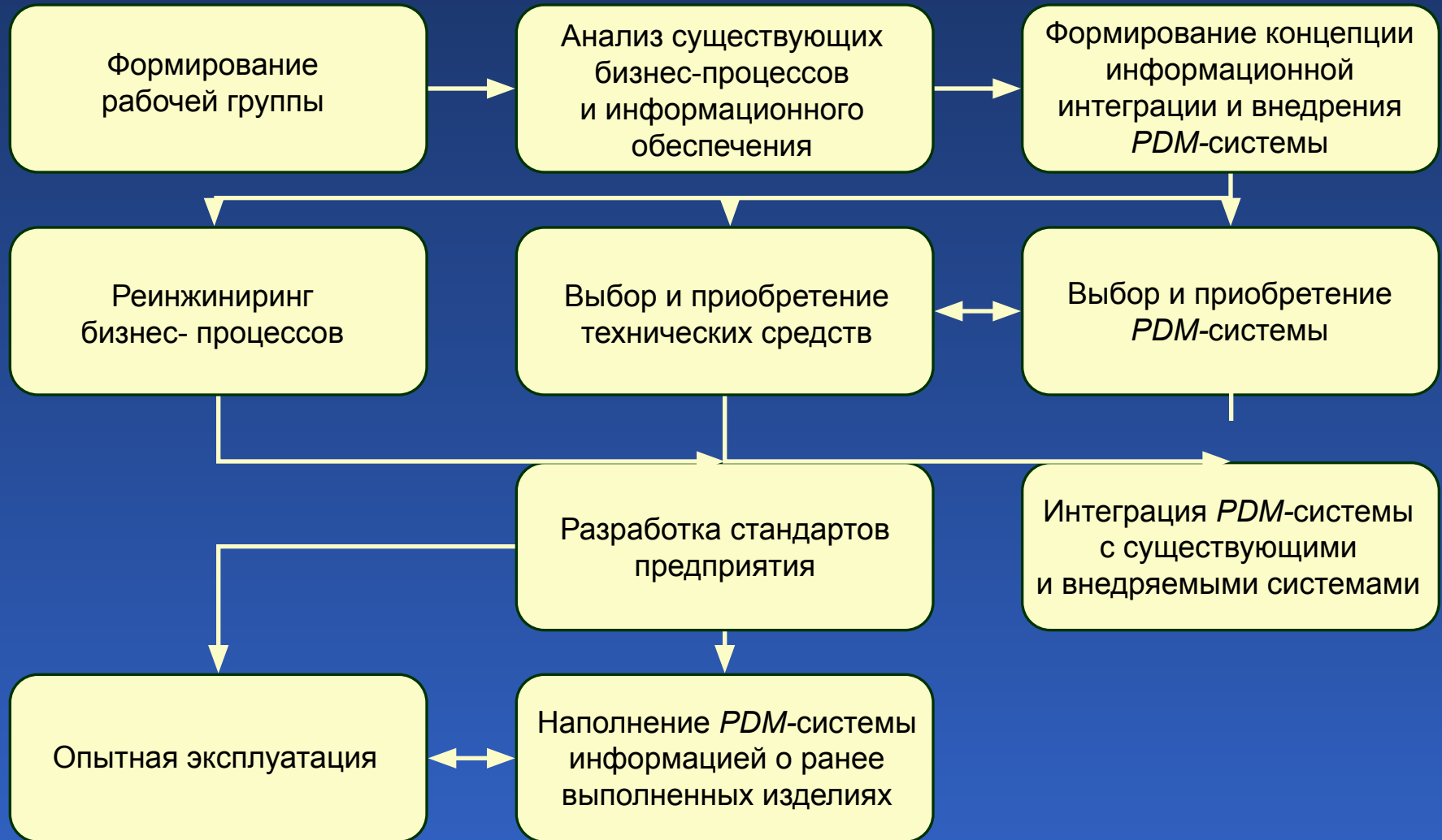
Технико-экономический эффект от внедрения CALS-технологий

Методические основы CALS-идеологии:

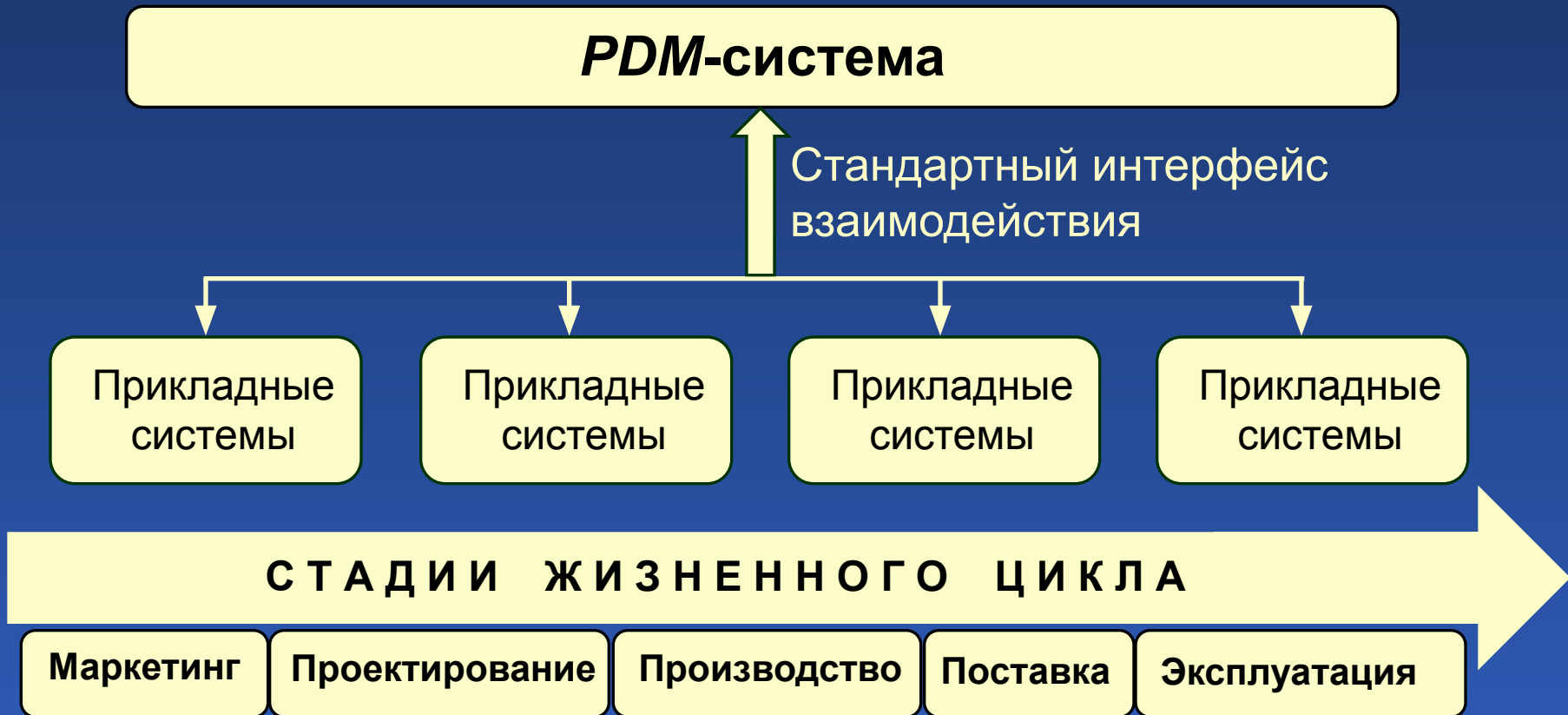
- международные стандарты;
- интегрированная логическая поддержка;
- электронный обмен данными;
- многопользовательская (интегрированная) база данных



Этапы внедрения CALS-технологий на предприятии



Создание ЕИП на основе PDM-системы



OrCAD-9.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Название программного продукта (название фирмы производителя)	Назначение	Область применения (особенности)	Учет взаимосвяз и физических процессов	Конвертация данных в другие САПР	Графический режим	Режим формирования моделей физических процессов	Наличие интегрированной среды и среды для связи с другими САПР	Среда функционирования (плат-форма)
Моделирование электрических и электромагнитных процессов (САПР для схемотехнического проектирования)								
OrCAD-9.1 (OrCad)	Система сквозного автоматизированного проектирования печатных плат (схемотехническое моделирование аналоговых, цифровых, цифро-аналоговых электронных схем, анализ схем по постоянному току, в частотной области, во временной области, спектральный анализ, анализ чувствительности, многовариантный статистический анализ по методу Монте-Карло, анализ на наихудший случай, параметрическая оптимизация схем, синтез ПЛИС; разработка чертежей печатных плат, авторазмещение ЭРЭ, трассировка печатного монтажа, анализ целостности сигналов).	Радиоэлектроника (система объединяет все модули предыдущих версий OrCAD, а также программы PSpice, Pspice Optimizer, входивших в состав Design-Lab)	Учет в параметрах электрических моделей компонентов температуры окружающей среды, а также паразитных параметров печатного монтажа	Импорт / экспорт в PCAD, SPECCTRA; программы перекодировки управляющих файлов в форматы применяемых в России, фотополттеров и сверлильных станков с ЧПУ	2D	Автоматический при анализе целостности сигналов	Общая интегрированная оболочка для программ: Or-CAD Capture (CIS), FPGA Studio, Pspice, PSpice A/D, Probe, Parts, Optimizer, Allegro Studio, OrCAD Layout	Windows 95/NT (ПК с процессорами Pentium)

Protel 99SE, SystemView

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Protel 99SE (<i>Protel International</i>)	Система проектирования электронных устройств (схемотехническое моделирование аналоговых, цифровых и цифро-аналоговых электронных схем; моделирование осуществляется по стандарту SPACE ; проектирование устройств на базе современных ПЛИС; создание чертежей печатных плат, авторазмещение ЭРЭ, трассировка печатных плат; анализ целостности сигналов)	Радиоэлектроника	Учет в параметрах электрических моделей компонентов температуры окружающей среды, а также паразитных параметров печатного монтажа	Экспорт / импорт данных в <i>Auto-CAD</i> , импорт данных из <i>Men-tor Board Station, OrCAD, EEssoft, SPISE, Tango, OrCAD Layout</i>	2D, 3D (просмотр печатных плат)	Автоматический при анализе целостности сигналов	Общая интегрированная оболочка для всех программных единиц. Оболочка снабжается <i>SAM Manager</i> (поддержка широкого набора выходных файлов), а также мастером <i>Wizard</i> (направление действий пользователя при генерации выходных файлов)	<i>Windows 95/98/NT</i> (ПК с процессорами <i>Pentium</i>)
SystemView (<i>ELANIX</i>)	Интегрированный пакет для моделирования динамических систем на уровне функцио-нальных блоков (синтез широкополосных систем связи и их анализ в различной помеховой и шумовой обстановке; проектирование сверхбыстродействующих цифровых сигнальных процессоров; моделирование алгоритмов работы цифровых адаптивных фильтров и т. п.)	Радиоэлектроника (телекоммуникационные системы)	Связь на уровне сигна-шум.	Импорт / экспорт с <i>Xilinx</i> (программирование ПЛИС), <i>Matlab</i>	2D	Полуавтоматический	Отсутствует	<i>Windows 95/98/NT</i> (ПК с процессорами <i>Pentium</i>)

Microwave Office, Omega PLUS

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Microwave Office (AWR)</i>	Электронное моделирование систем СВЧ (моделирование линейных и нелинейных схем; одночастотный и многочастотный методы гармонического баланса; анализ на основе рядов Вольтера; анализ смесителей; высокоскоростные методы линейного и шумового анализ; топологическое проектирование микроэлектронных узлов и печатных плат)	Радиоэлектроника	Учитываются параметры топологии	Импорт файлов из систем <i>Spice</i> и <i>MMICAD</i>	2D, 3D	Автоматический	Общая интегрированная оболочка для собственных программных единиц	Windows 95/NT (ПК с процессором <i>Pentium</i>)
<i>Omega PLUS (Quantic EMC Inc.)</i>	Пакет программ для анализа целостности сигналов и моделирования электромагнитной совместимости проектов схемно-конструктивных реализаций ЭС (расчёт паразитных эффектов, интерференционных сигналов и электромагнитного излучения; идентификация наиболее интенсивно излучающих сегментов печатных проводников; анализ статистических, электрических и магнитных полей для плоских геометрических конструкций моделирование электромагнитных полей	Радиоэлектроника (интегрируется с другими программами)	Учитывается связь электромагнитных характеристик с параметрами и конструкций ЭС	Импорт топологии печатных плат из <i>ACCEL EDA</i> , <i>SPECCTRA</i> , <i>Mentor Board Station</i> , <i>OrCAD Layout</i> , <i>PADS Power</i> , <i>PCB</i> , <i>Protel</i> и т. п. Экспорт эквивалентных электрических схем трёхмерных структур в <i>SPICE</i>	2D, 3D	Автоматический на основе метода конечных элементов	Отсутствует	Windows 95/NT (ПК с процессором <i>Pentium</i>)

MENTOR GRAPHICS

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<p>MENTOR GRAPHICS (Mentor Graphics) Комплект модулей для схемотехнического моделирования: <i>Idea Stn.</i>, <i>VHDL Architecture Stn.</i>, <i>Accu SimII Kernel</i>; <i>Continuum Kernel</i>; <i>Accu Parts</i>; <i>Auto-LogicII</i>, <i>AutoLogic VHDL</i>, <i>Auto-Logic BLOCKs</i>, <i>TELE-COM SIM LIB</i> и др.</p> <p>Комплекты модулей для топологического проектирования: <i>IC Layout EX. Stn</i>; <i>Icblocks Iextract</i>; <i>Memory Bilder</i>; <i>Micro Plan</i>; <i>Micro ROUT</i>; <i>Datapath</i>; <i>GDT Devel-oper</i>; <i>Board Designer Stn</i>; <i>Board Dsnr High Speed Stn</i>; <i>Board Stn</i>; <i>MCM Stn</i>; <i>Hybrid Stn</i>; <i>AUTOROUTEshapl</i>; <i>SMARTROUTERs</i> и др.</p>	<p>Система для сквозного автоматизированного проектирования микросхем, печатных плат и радиоэлектронных систем</p> <p>Схемотехническое моделирование. Моделирование аналоговых схем по алгоритмам <i>SPICE</i> и <i>OSR (One Step Relaxation)</i>; логическое моделирование; разработка проектов с концептуального уровня; цифроаналоговое моделирование; оптимизация логики по различным критериям. Моделирование систем телекоммуникаций</p> <p>Топологическое проектирование. Топологическое проектирование (авто-размещение компонентов и трассировка пленочного и печатного монтажа) микросхем, печатных плат (ПП), высоко-скоростных ПП; гибридных ПП; много-кристальных сборок. Планировка кристалла. Трассировка проводного кабельного монтажа. Расчет паразитных параметров и пр.</p>	<p>Радиоэлектроника</p>	<p>Учет в параметрах электрических моделей компонентов температуры окружающей среды, а также паразитных параметров печатного монтажа</p>	<p>Импорт / экспорт в <i>Spice</i>; экспорт в обменный формат <i>EDIF 200</i>; <i>TDL</i>, <i>NDL</i>, <i>ADL</i>, <i>GDLII</i>, <i>CIF</i> и др.</p>	<p>2D, 3D</p>	<p>Полуавтоматический и автоматический</p>	<p>Общая оболочка проектирования; общая СУБД проектирования; поддержка инженерных решений (комплект модулей <i>Falcon Fra-mework</i>)</p>	<p>Windows 95/NT</p>

MENTOR GRAPHICS

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<p>MENTOR GRAPHICS (Mentor Graphics) Модули для моделирования тепловых процессов: <i>AutoTherm, Auto Flow</i></p>	<p>Система для сквозного автоматизированного проектирования микросхем, печатных плат и радиоэлектронных систем</p> <p>Моделирование тепловых процессов. Моделирование стационарных и нестационарных аэродинамических и тепловых процессов в блоках, печатных узлах и микро-сборках. Процесс моделирования может осуществляться с конструкций высшего уровня иерархии (шкаф, блок) с переходом на конструктивные узлы более низкого уровня иерархии (печатные узлы, гибридно-интегральные схемы, интегральные схемы)</p>	<p>Радиоэлектроника (учитываются некоторые особенности аэрокосмических ЭС (учет вырезов, некоторых видов систем теплостоков, возможное отсутствие конвекции)</p>	<p>Совместное (последовательное) моделирование аэродинамических и тепловых процессов</p>	<p>Импорт /экспорт из/в <i>AutoTherm, Auto Flow</i></p>	<p>2D, 3D</p>	<p>Автоматический</p>	<p>Общая оболочка проектирования; общая СУБД проектирования; поддержка инженерных решений (комплект модулей <i>Falcon Framework</i>)</p> <p>Общая оболочка проектирования; общая СУБД проектирования; поддержка инженерных решений</p>	<p>Windows 95/NT</p>
<p>MENTOR GRAPHICS (Mentor Graphics) Модуль для анализа надежности</p>	<p>Система для сквозного автоматизированного проектирования микросхем, печатных плат и радиоэлектронных систем. <i>Анализ надежности электронных систем на основе методов MIL-HDBK-217 и IEC56</i></p>	<p>Радиоэлектроника</p>	<p>—</p>	<p>—</p>	<p>—</p>	<p>Полуавтоматический</p>	<p>Общая оболочка проектирования; общая СУБД проектирования; поддержка инженерных решений</p>	<p>Windows 95/NT</p>

BETA soft, COSMOS/M

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>BETA soft (Dynamic Analysis Inc.)</i>	<p>Моделирование тепловых и аэродинамических процессов в радиоэлектронной аппаратуре (моделирование стационарных и нестационарных тепловых и аэродинамических процессов в блоках с регулярной структурой (крейтах), печатных узлах, интегральных схемах)</p>	<p>Радиоэлектроника (учет тепло-стоков, возможное отсутствие конвекции для космических ЭС; учёт тепловыделений в печатных проводниках плат автомобильных ЭС)</p>	<p>Совместное последовательное моделирование аэродинамических и тепло-вых процессов</p>	<p>Импорт данных из: <i>PCAD, Tango, Alegro, OrCAD, Protel, Mentor, ACCEL, Veri Best, PADS</i></p>	<p>2D, 3D</p>	<p>Автоматический для всех типов</p>	<p>Отсутствует</p>	<p>DOS, Windows 3.1/95/98/NT, UNIX (ПК с процессорами Pentium)</p>
<i>COSMOS/M (Structural Research and Analysis Corporation)</i>	<p>Выполняет прочностные, тепловые, гидродинамические, электротехнические и прочие расчёты 1-, 2- и 3-мерных конструкций. Виды анализа: линейный статический анализ; линейный динамический анализ; углублённый динамический анализ; нелинейный статический анализ, анализ усталостной прочности конструкций, анализ теплового состояния; электромагнитный анализ; анализ турбулентных течений жидкости. оптимизация конструкций; гидродинамические расчёты</p>	<p>Космическое машиностроение, теплотехника, гидродинамика, электроника (базируется на методе конечных элементов)</p>	<p>Связь тепло-вых и гидродинамических процессов</p>	<p>—</p>	<p>2D, 3D</p>	<p>Автоматический управляемый генератор сеток</p>	<p>Интеграция через интерфейс <i>Design</i> и пост-процессоры системой <i>AvtoCad</i></p>	<p>Windows 95 (рабочие станции IBM RS/6000, SPARC-station 1, 2; VAX station, DECstation; SUN 386i, 3, 4)</p>

АСОНИКА ANSYS

1	2	3	4	5	6	7	8	9
«АСОНИКА» (автоматизированная система обеспечения надежности и качества аппаратуры) // подсистема «АСОНИКА-К» - подсистема моделирования деградационных процессов (МГИЭМ, РТУиС) каф.	Подсистема анализа и обеспечения показателей надежности и качества (анализ точности и стабильности /на основе методов моментов и статистических испытаний, а также квазидетерминированных функций, описывающих зависимости параметров ЭРЭ от различных дестабилизирующих факторов/, анализ вероятности безотказной работы по постепенным отказам, анализ показателей надежности по внезапным отказам (используется библиотека функций распределения /экспоненциальное распределение, распределение Вейбула – Гнеденко, DN-распределение и др./, идентификация моделей безотказности ЭРЭ, синтез допусков	Радиоэлектроника (учитываются особенности аэрокосмических ЭС /учет широкого спектра дестабилизирующих факторов при анализе точности, стабильности и безотказности/, учет технологических разбросов	Исследование деградационных процессов с учетом тепловых, механических, электрических, радиационных и др. процессов Совместный анализ (прочность, тепло-вые процессы, электромагнитные процессы, гидрогазодинамические характеристики) на уровне единой модели.	Импорт /экс-порт данных в проблемные подсистемы системы «АСОНИКА» («АСОНИКА-Э», «АСОНИКА-Т», «АСОНИКА-ТМ», «АСОНИКА-Д»)	2D	Автоматический	Объединена с другими проблемами подсистемами системы «АСОНИКА» единой управляющей программой	Windows 95/NT (ПК с процессором Pentium)
ANSYS (Ansys Inc.)	Универсальный тяжелый конечно-элементный пакет (статический и динамический анализ с учетом геометрической и физической нелинейности, анализ усталостных характеристик, моделирование электромагнитных полей, моделирование стационарных и нестационарных тепловых процессов, анализ гидрогазодинамики, моделирование акустических процессов)	Машиностроение, теплотехника, электроника, гидро-механика, электротехника и т. п.	Импорт/экспорт с программами ADAMS, Design Space, LS-DYNA, COMET/Acoustics и т. п.	Импорт/экспорт с программами ADAMS, Design Space, LS-DYNA, COMET/Acoustics и т. п.	2D, 3D	Автоматический, полуавтоматический (на основе работы с Макросами)	-	Windows 95/98/NT

1. Латышев, П. Н. Каталог САПР. Программы и производители / П. Н. Латышев. – М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2006. – 608 с. : ил. – (Системы проектирования).

2. Левин Д. Энциклопедия *PLM* / Д. Левин, В. Малюх, Д. Ушаков. – Новосибирск : ООО Издательский дом «Азия», 2008. – 445 с.