



Моделирование 3-d наносхемотехники

Россия, Москва
Московский институт электроники и математики (МИЭМ)
Руководитель научного направления
д.т.н., профессор
Трубочкина Надежда Константиновна
nadin@miem.edu.ru
<http://nadin.miem.edu.ru>

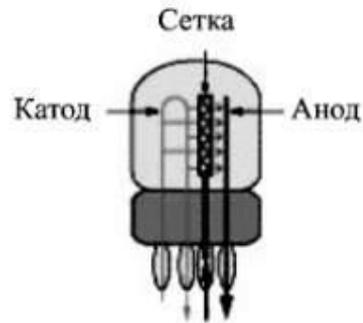
Актуальность

- Нанотехнологии и нанонауки, многофункциональные материалы, основанные на новых знаниях и предназначенные для новых производственных процессов и устройств.
- Промышленность и общество могут извлечь пользу из новых знаний посредством разработки новых продуктов и технологических процессов.
- Необходима согласованность национальных исследовательских программ и инвестиций. Это должно гарантировать обеспечение страны командами и соответствующей инфраструктурой, нацеленными на решение актуальных задач.

Прошлое и настоящее схемотехники

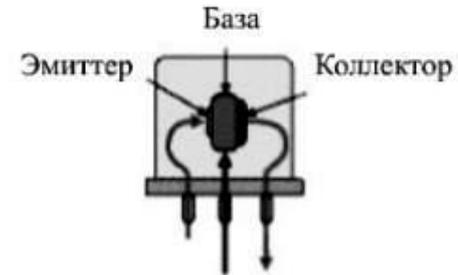


а)



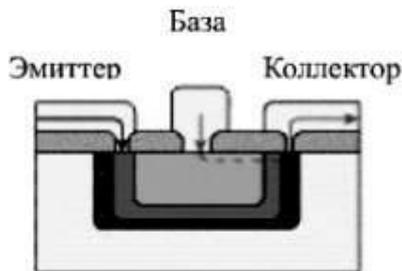
Вакуумная
электронная лампа

б)



Дискретный
полупроводниковый
транзистор

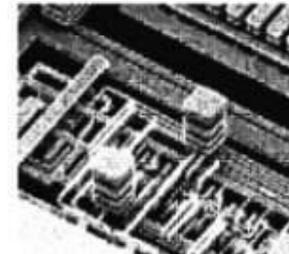
в)



Интегральный
полупроводниковый
транзистор

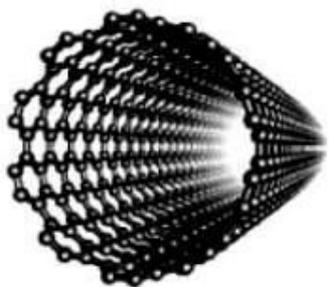


Планарные
БИС и СБИС

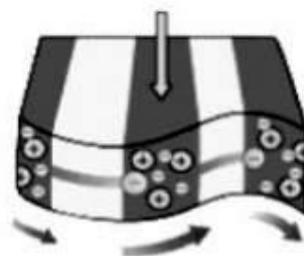


Трехмерные
СБИС

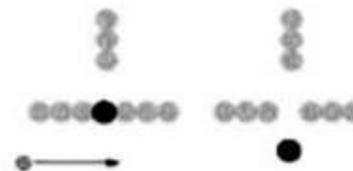
Настоящее и будущее схемотехники



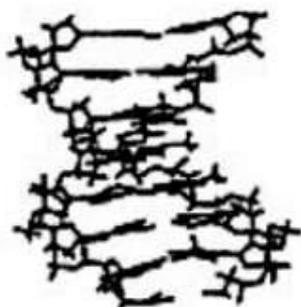
Нанотрубки
ж)



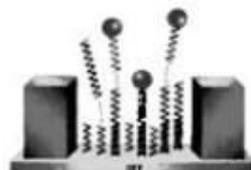
Одноэлектронный
транзистор
з)



Атомные
переключающие
структуры
и)



ДНК -
углеродная схема
к)



Биочипы
л)



Нанофабрики
м)

Новизна

- Представлен новый подход к пониманию и освоению свойств трехмерных интегральных схем.
- Разработана соответствующая подходу схемотехника.
- Разработано программное обеспечение, позволяющее синтезировать новые интегральные структуры, а также «совершать экскурсию» внутрь интеллектуального кристалла и «гулять» там.

Теория

- Разработана переходная схемотехника для 3-d СБИС.
- Компонент схемотехники - физический переход между материалами с различными свойствами.
- Математические модели интеллектуальных элементов содержат минимальное количество переходов и физических областей с различными свойствами.
- Некоторые модели «совпадают» по структуре с органическими молекулами, имеющими те же логические функции.

Теоретические основы переходной схемотехники (ТОПС 1)

Математической моделью функционально-интегрированного элемента (ФИЭ) является неориентированный граф

$$G (X, A, \Gamma),$$

где: $X = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ – множество вершин,

$A = (a_1, a_2, \dots, a_M)$ – множество ребер.

Предикат Γ является трехместным предикатом и описывается логическим высказыванием

$$\Gamma (x_i, a_k, x_j),$$

которое означает, что ребро a_k соединяет вершины x_i и x_j .

ТОПС 2

Элементу множества вершин x_i соответствует часть интегральной структуры

$$T_i^{F_i},$$

в которой

T_i определяет качественный состав части интегральной структуры,

F_i – элемент функционального множества.

$$T = \{T_i\}(i=1,n) = (p,n,p+,n+,...SiO_2, Al, Ga...) = П \cup Д \cup М –$$

множество элементов типа частей структуры (p – полупроводниковая область p -типа, n – полупроводниковая область n -типа, SiO_2 – область двуокиси кремния, Al – область алюминия, Ga – область галия и т.д.),

$П$ – подмножество областей полупроводников, $Д$ – подмножество областей диэлектриков, $М$ – подмножество проводников.

ТОПС 3

Функциональное множество

$$F = F_y \cup F_H$$

состоит из двух подмножеств:

$$F_y = \{F_{yi}\} = (E_1, \dots, E_{k1}, I_1, \dots, I_{k2}, \phi_1, \dots, \phi_{k3} \dots)$$

подмножества управляющих воздействий в виде напряжения E_i , тока I_j , света ϕ_k и

$$F_H = \{F_{Hi}\} = (v_{x1}, \dots, v_{xm}, v_{y1}, \dots, v_{yn})$$

подмножества назначения, задающего входные и выходные функции областям из подмножества T , по отношению к которым определяются передаточные характеристики элементов.

N – число областей интегральной структуры, размерность элемента.

ТОПС 4

Элементам множества ребер a_k , a_i соответствуют переходы между различными частями интегральной структуры, выполняющие определенные функции, причем существуют

$$x_i, x_j \quad (x_i \neq x_j \ \& \ \Gamma(x_i, a_k, x_j) \ \& \ \Gamma(x_j, a_k, x_i)).$$

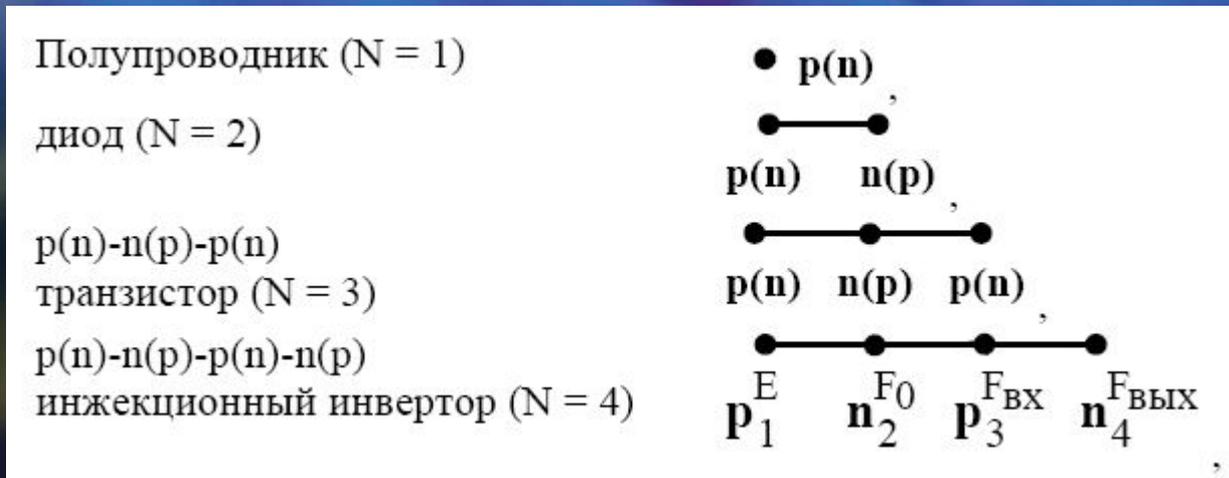
Примерами переходов – компонентов переходной схмотехники – являются:

- $P_i - P_j$ переход - переход между полупроводниками, например, $p - n$ переход, переход между полупроводниками p и n типа, выполняющий диодную функцию,
- $P_i - D_j$ переход - переход между полупроводником и диэлектриком,
- $P_i - M_j$ переход - переход между полупроводником и металлом (диод Шоттки),
- переходы между прозрачными и непрозрачными слоями в оптоэлектронных элементах,
- мембраны в биологических элементах и т.д,

Инцидентор $\Gamma(x_i, a_k, x_j)$ означает, что область x_i , имеет с областью x_j физическую границу – переход a_k .

ТОПС 5

Графовые модели интегральных элементов могут представлять собой деревья, а могут содержать и циклы.

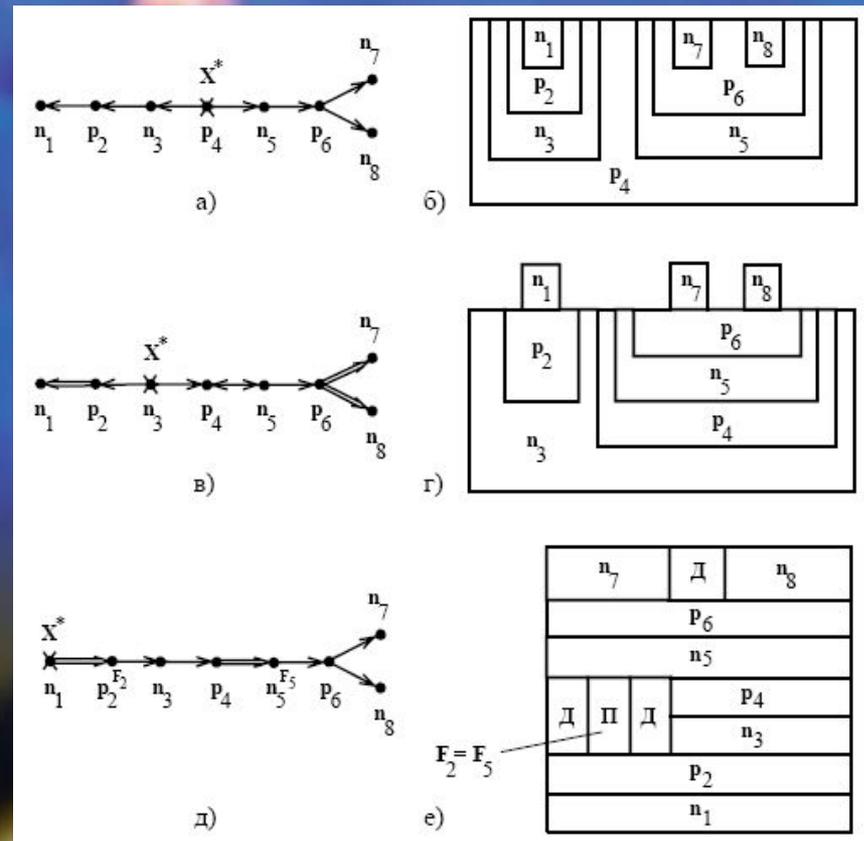


цепь открытий и изобретений, давших три последних поколения вычислительных машин, всего лишь начальные элементы таблицы оптимальных математических моделей элементов переходной (p-n) схемотехники.

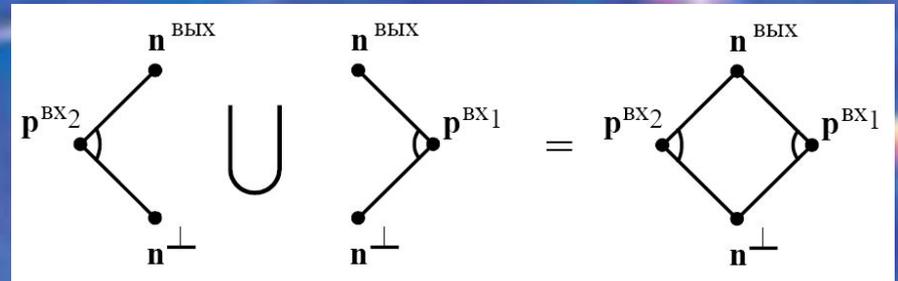
ТОПС 6. Генерация структур

Процедура генерации структурных формул интегральных структур по математической модели элемента переходной схемотехники:

- а) – структурная формула элемента И-НЕ,
- б) – структура элемента, выполненного по эпитаксиально-планарной технологии,
- в) – структурная формула И-НЕ,
- г) – структура элемента с локальными эпитаксиальными областями,
- д) – структурная формула И-НЕ,
- е) – структура элемента с многослойной (трехмерной) конструкцией

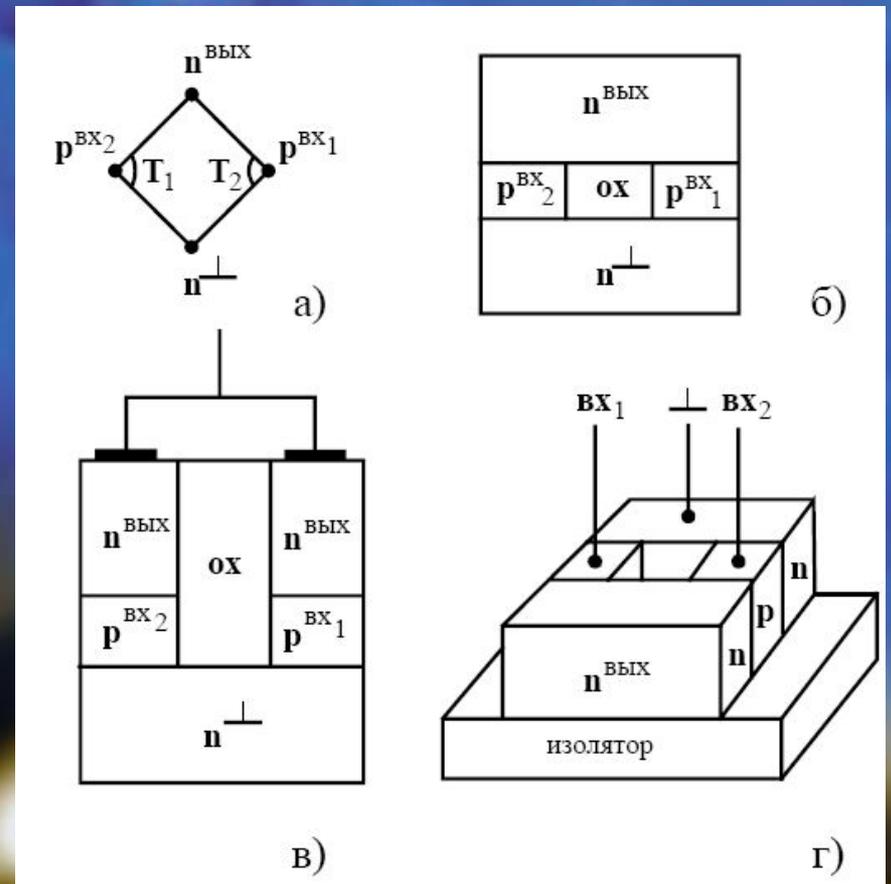


Пример проектирования ФИЭ



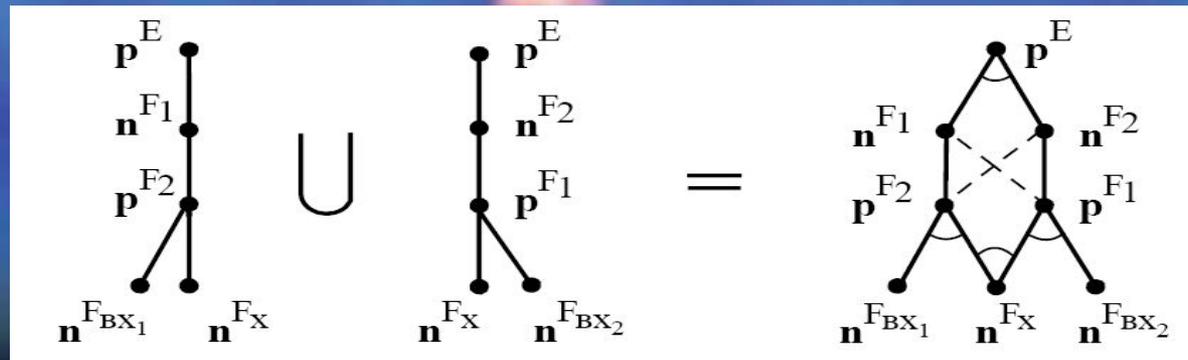
Уравнение синтеза

- а) – математическая модель (объединение двух n-p-n транзисторов по эмиттерам и коллекторам),
- б) – вертикальная оптимальная интегральная структура,
- в) – вертикальная структура с разбиением вершины $n^{ВЫХ}$,
- г) – горизонтальная структура на изоляторе



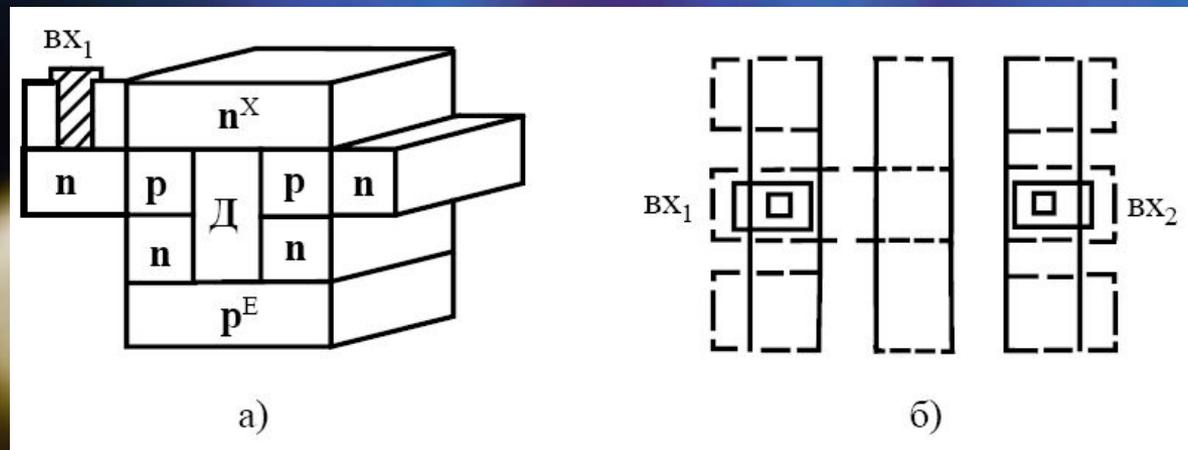
RS-триггер в переходной схемотехнике

Уравнение синтеза



RS-триггер в переходной схемотехнике:

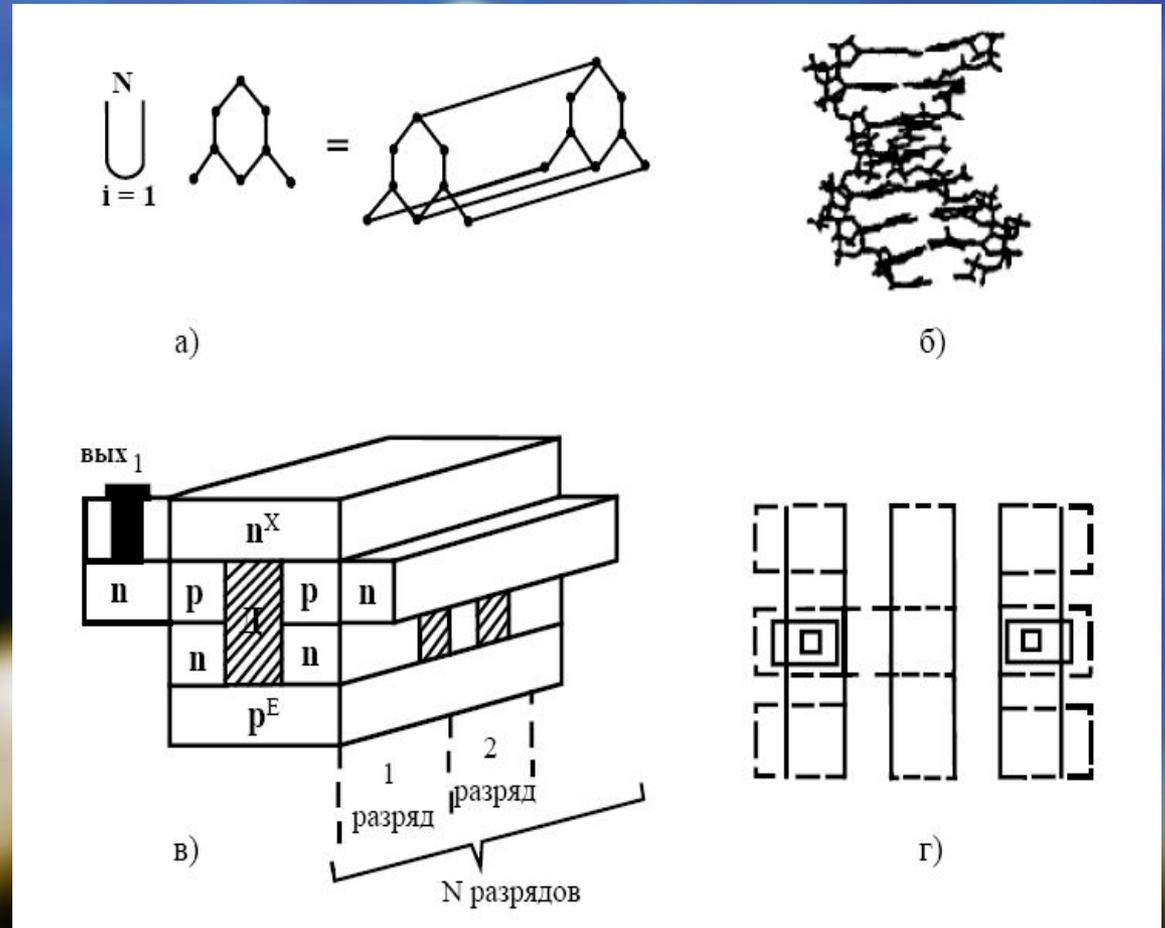
а) – структура,
б) – топология



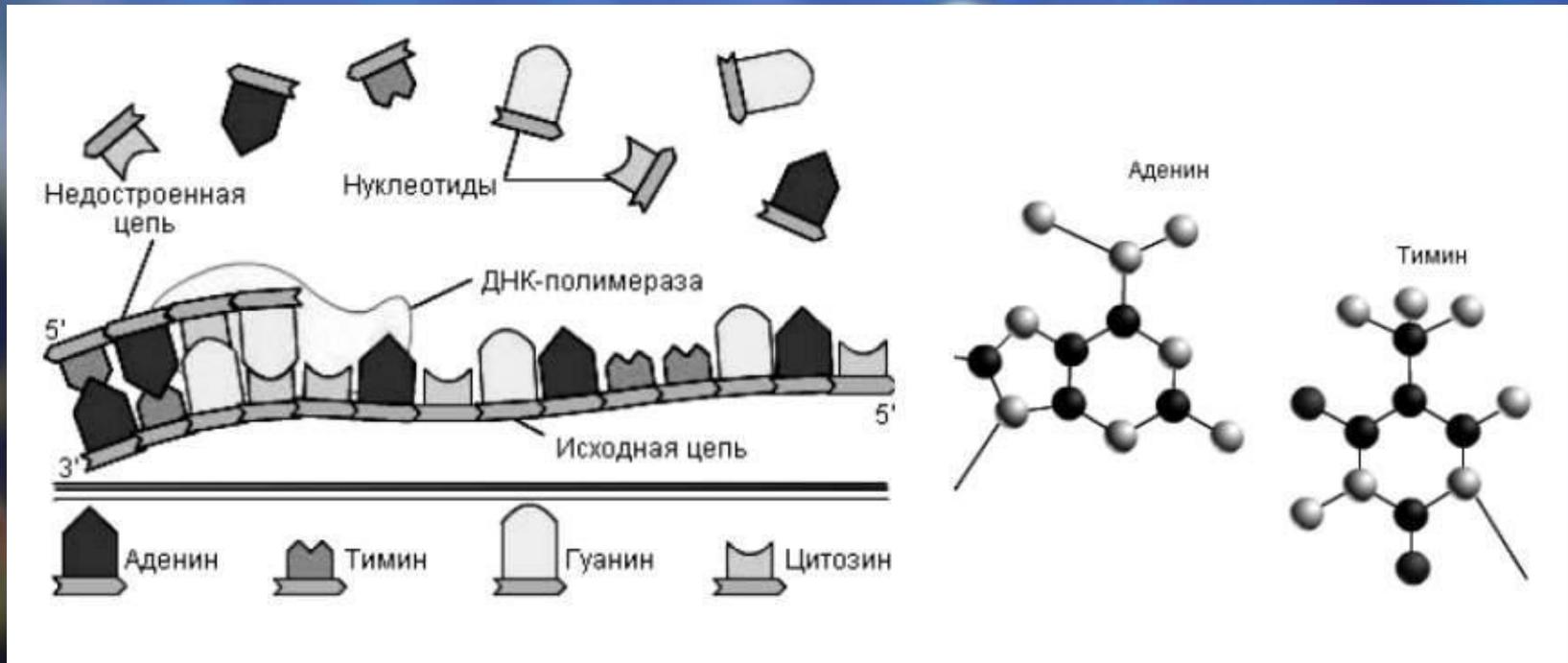
N-разрядный регистр на RS-триггерах в переходной схемотехнике

- а) – уравнение синтеза,
- б) – ДНК,

- в) – интегральная структура,
- г) – топология одного разряда



Биочипы (подобие углеродной и кремниевой переходных схмотехник)

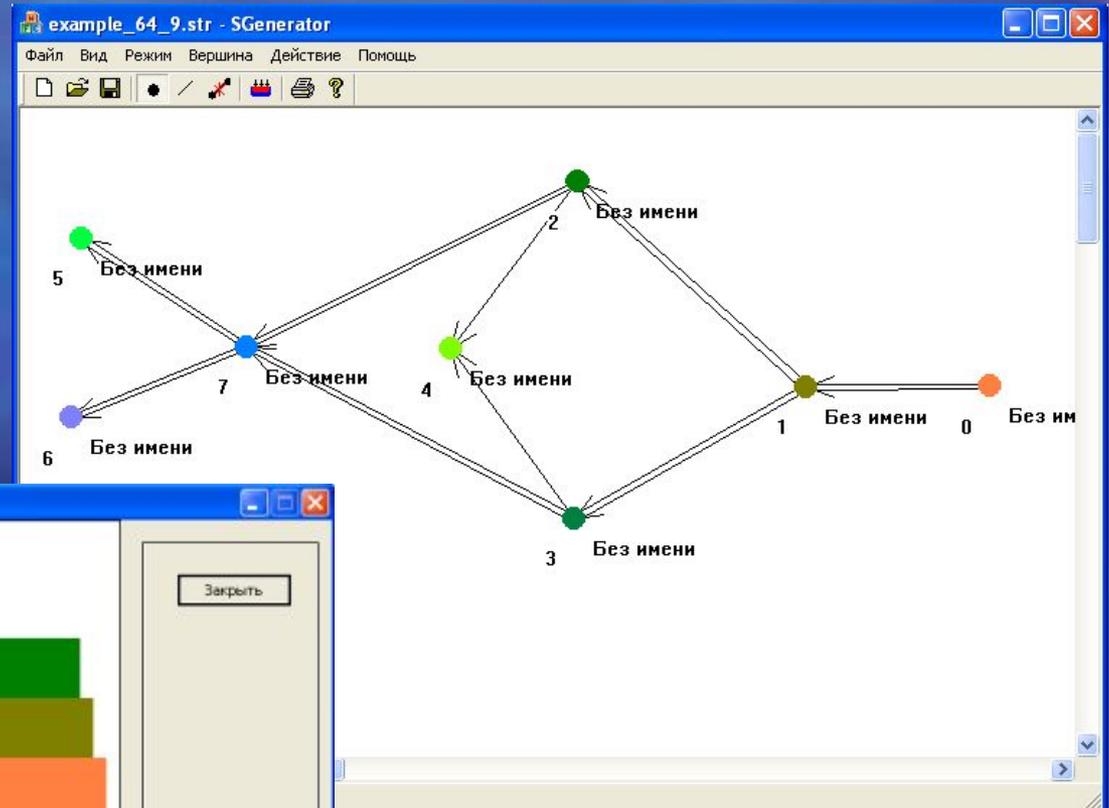


На рисунке показан синтез комплиментарной цепи ДНК из нуклеотидов, модели которых удивительно похожи на математические модели триггеров в переходной схмотехнике.

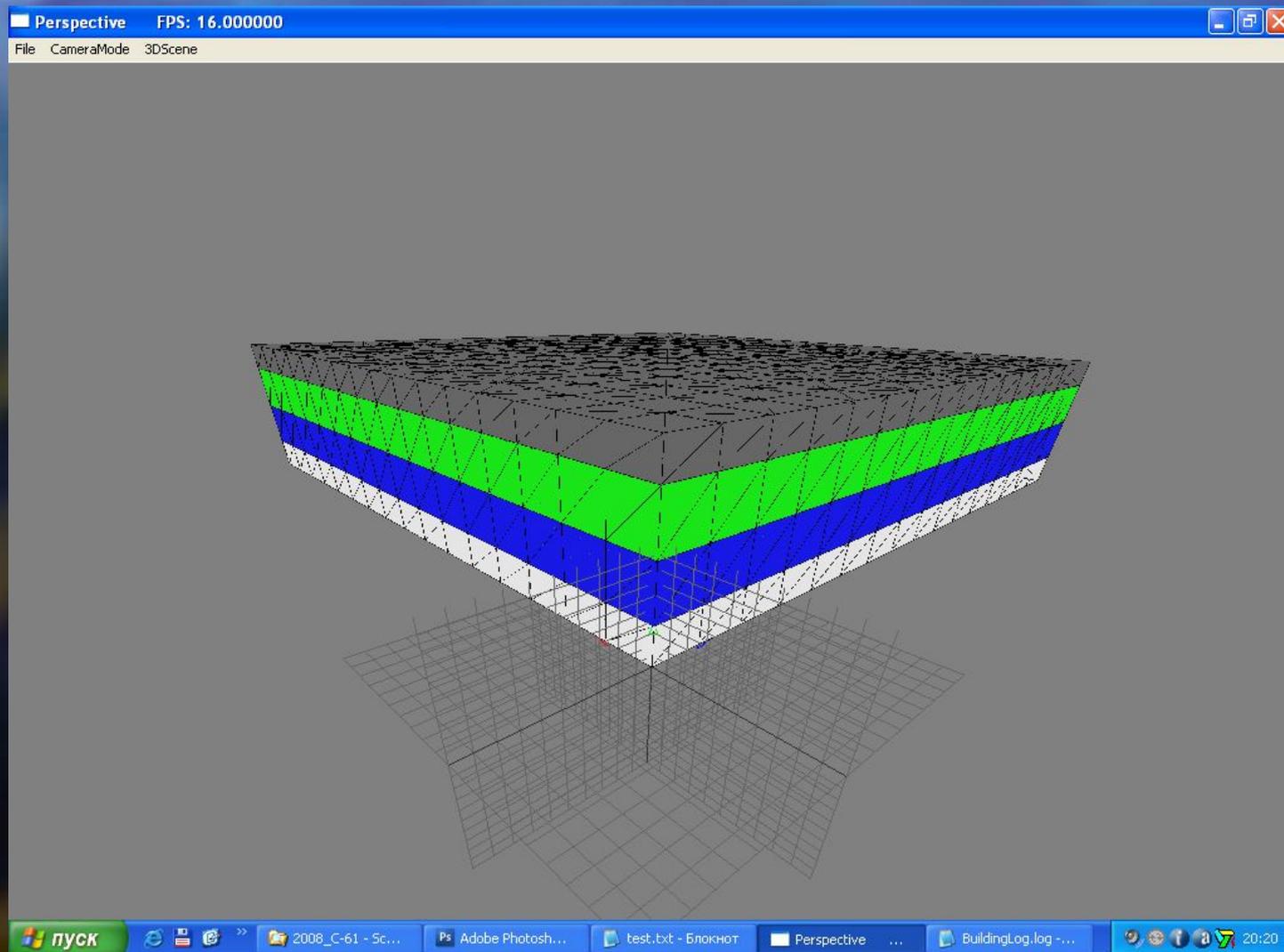
Программное обеспечение (ПО 1)

- SGenerator –

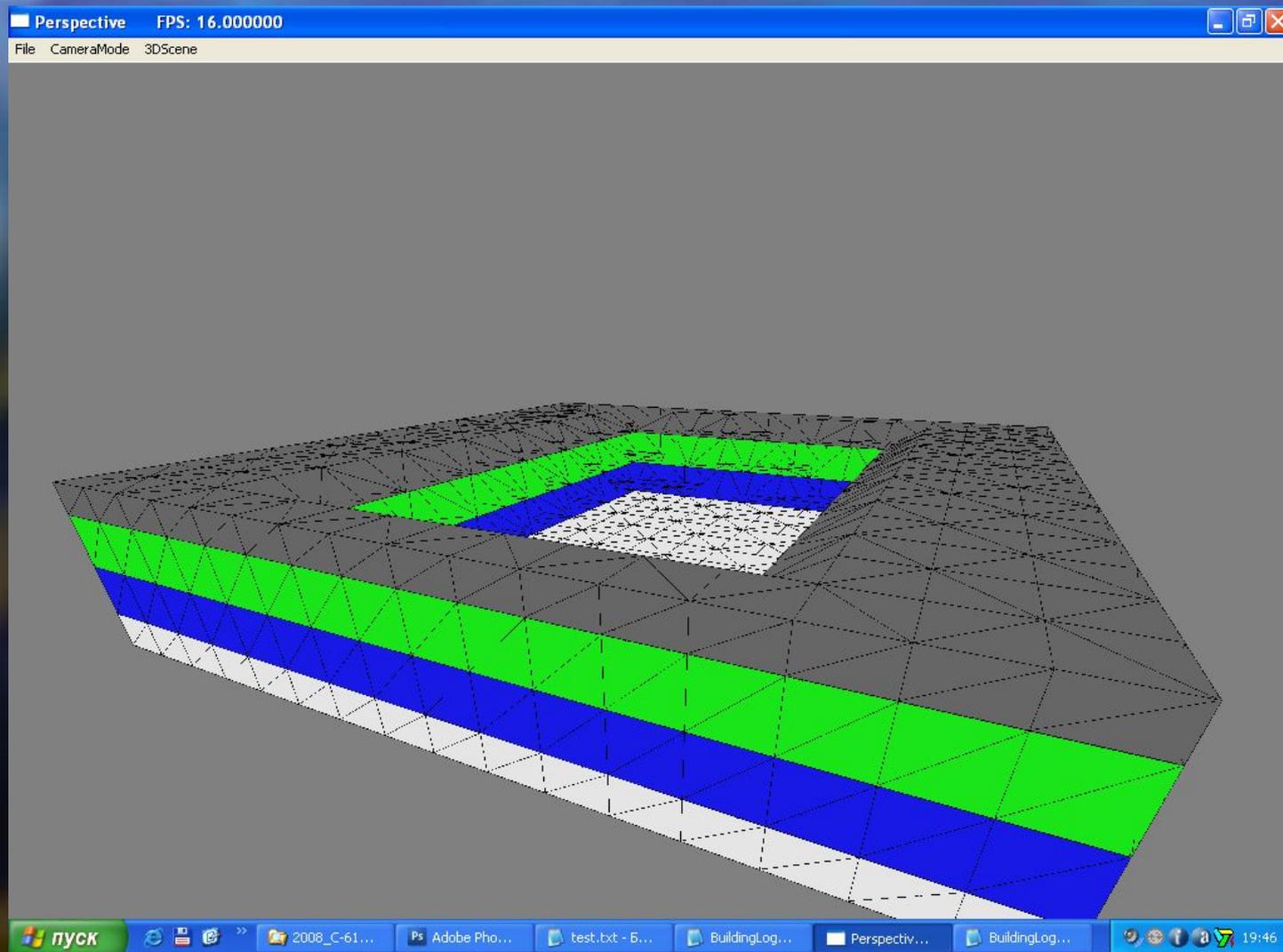
генерация 2-d интегральной структуры по математической модели ФИЭ



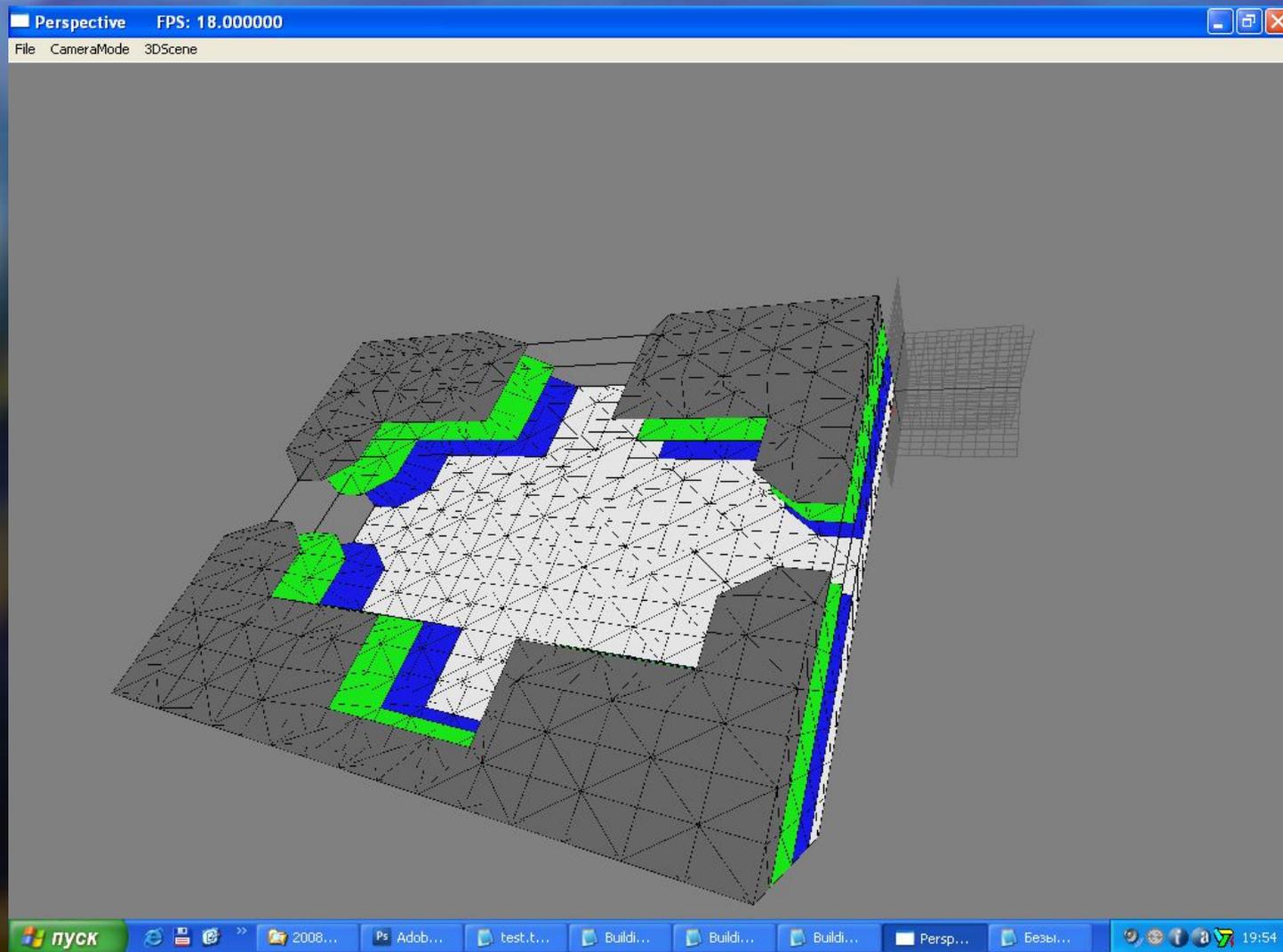
Программное обеспечение (ПО 2) – Perspective – 3-d визуализация (пример 1)



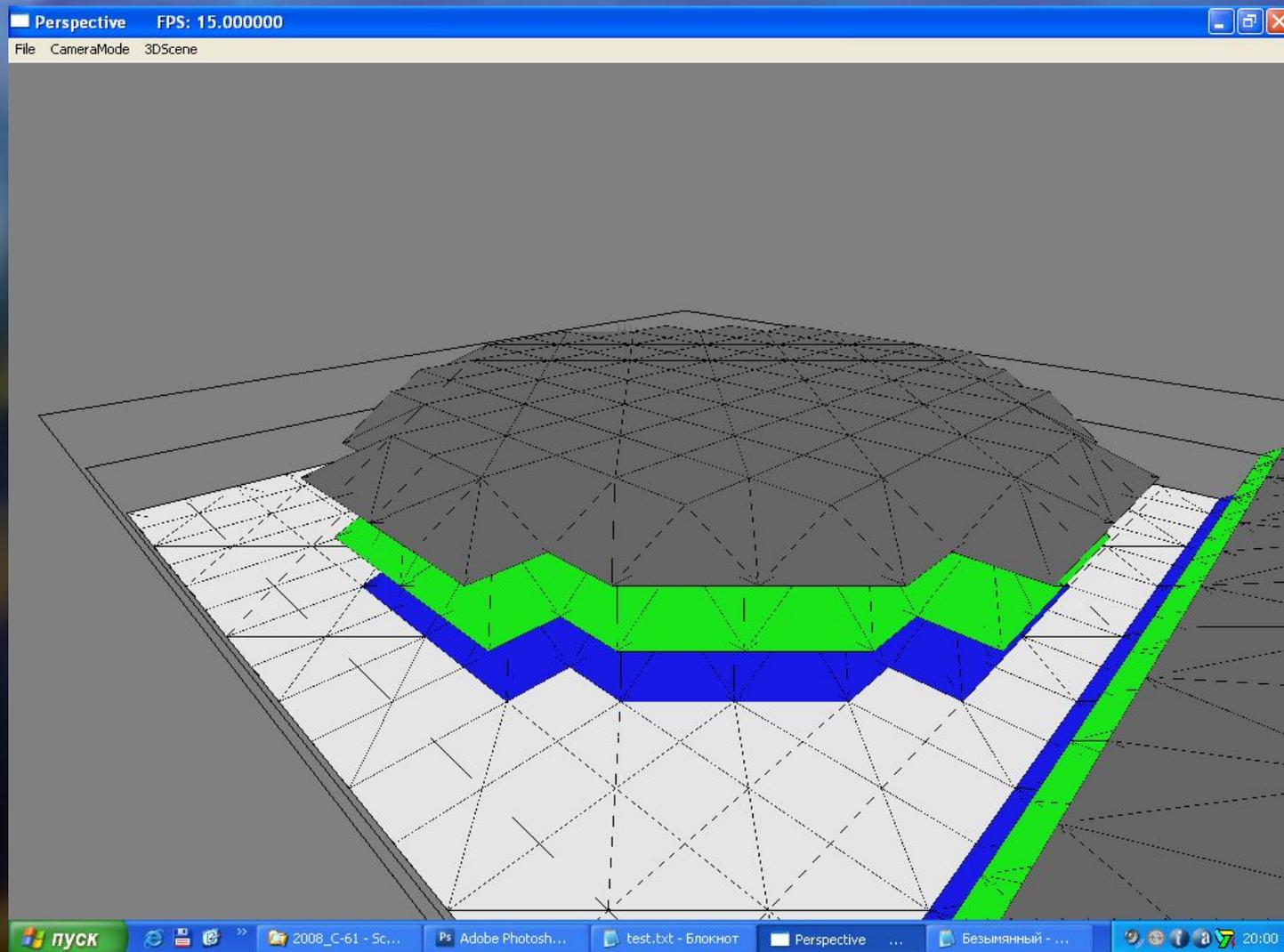
Программное обеспечение (ПО 2) – Perspective – 3-d визуализация (пример 2)



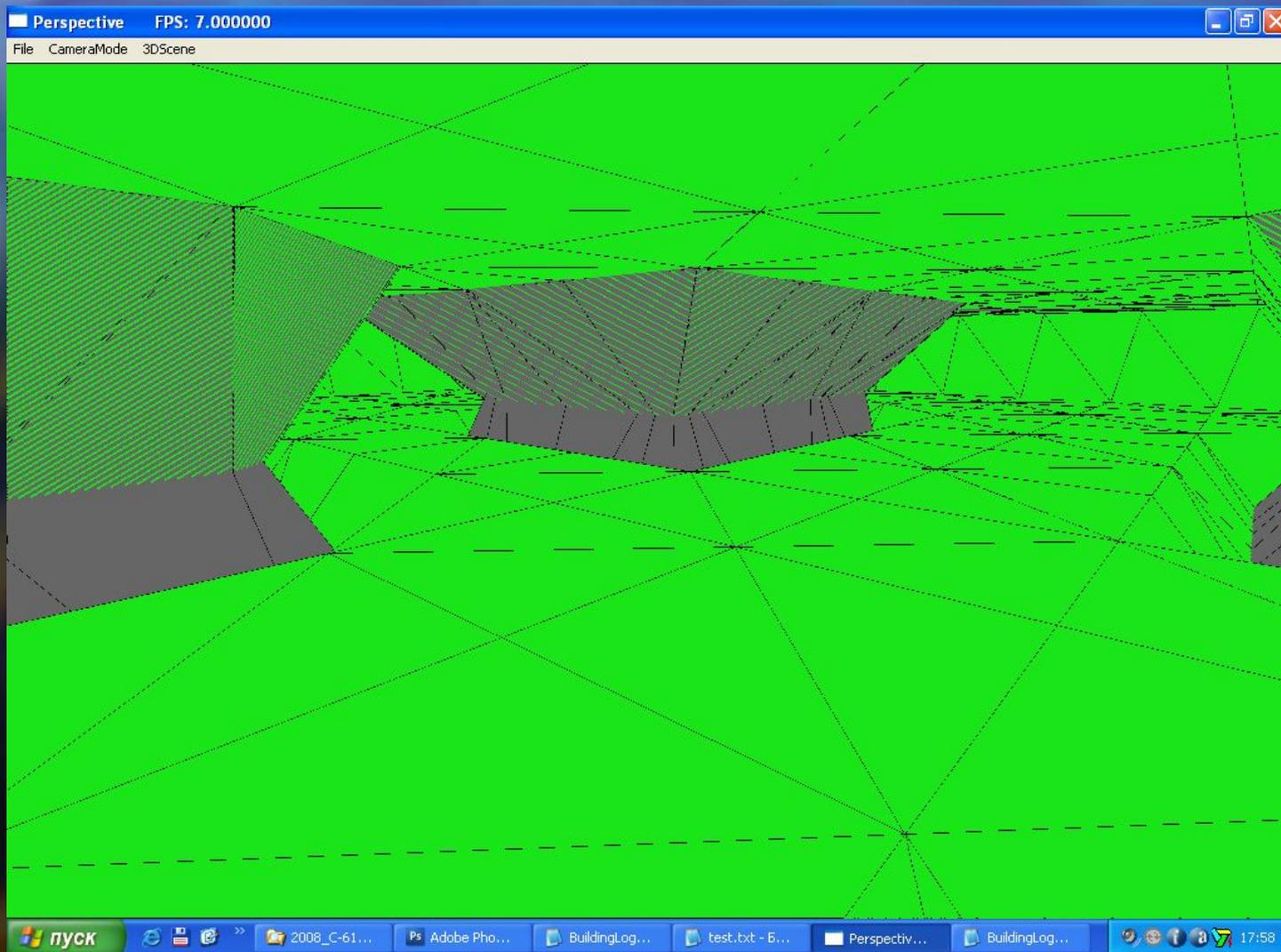
Программное обеспечение (ПО 2) – Perspective – 3-d визуализация (пример 3)



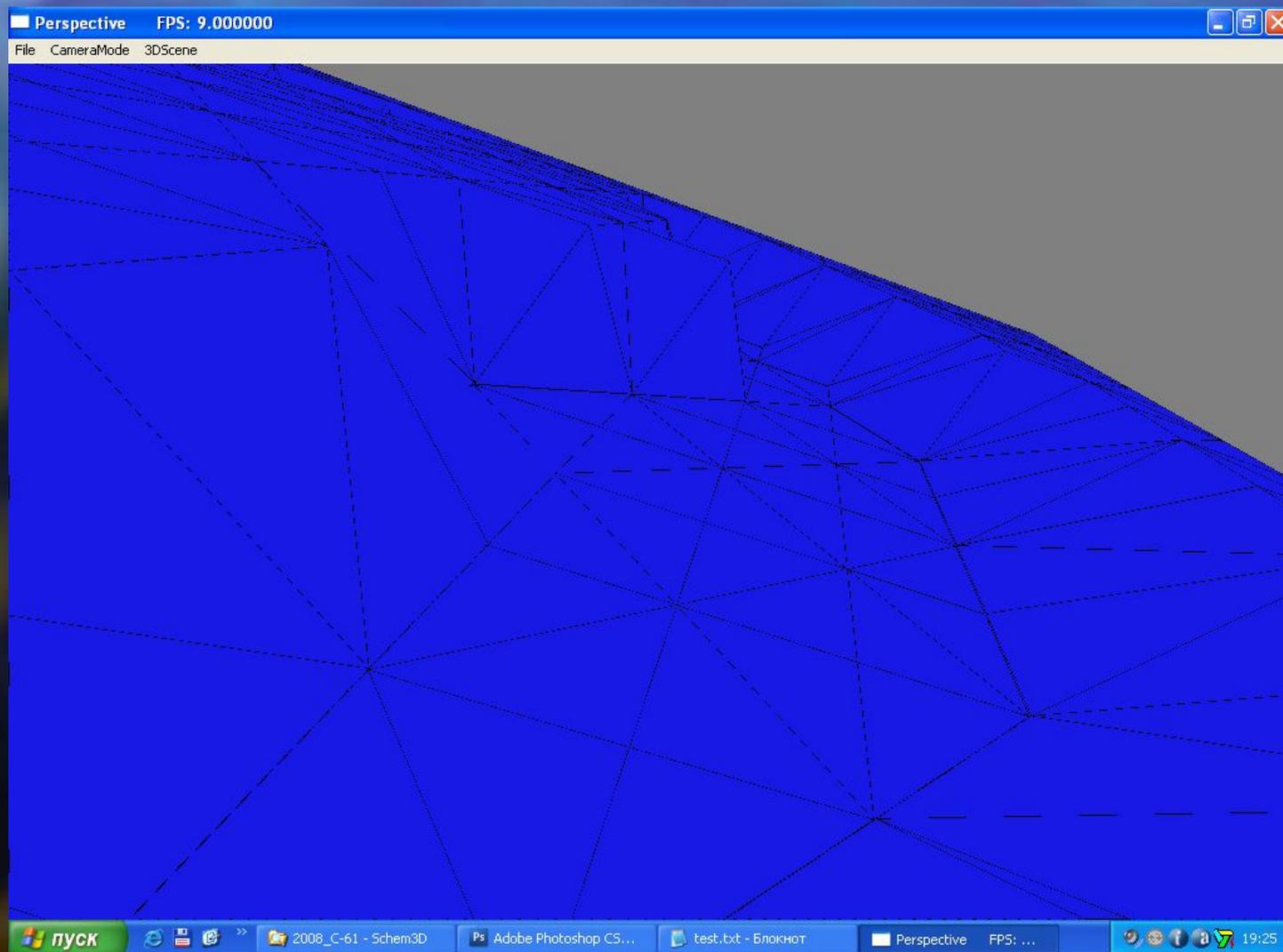
Программное обеспечение (ПО 2) – Perspective – 3-d визуализация (пример 4)



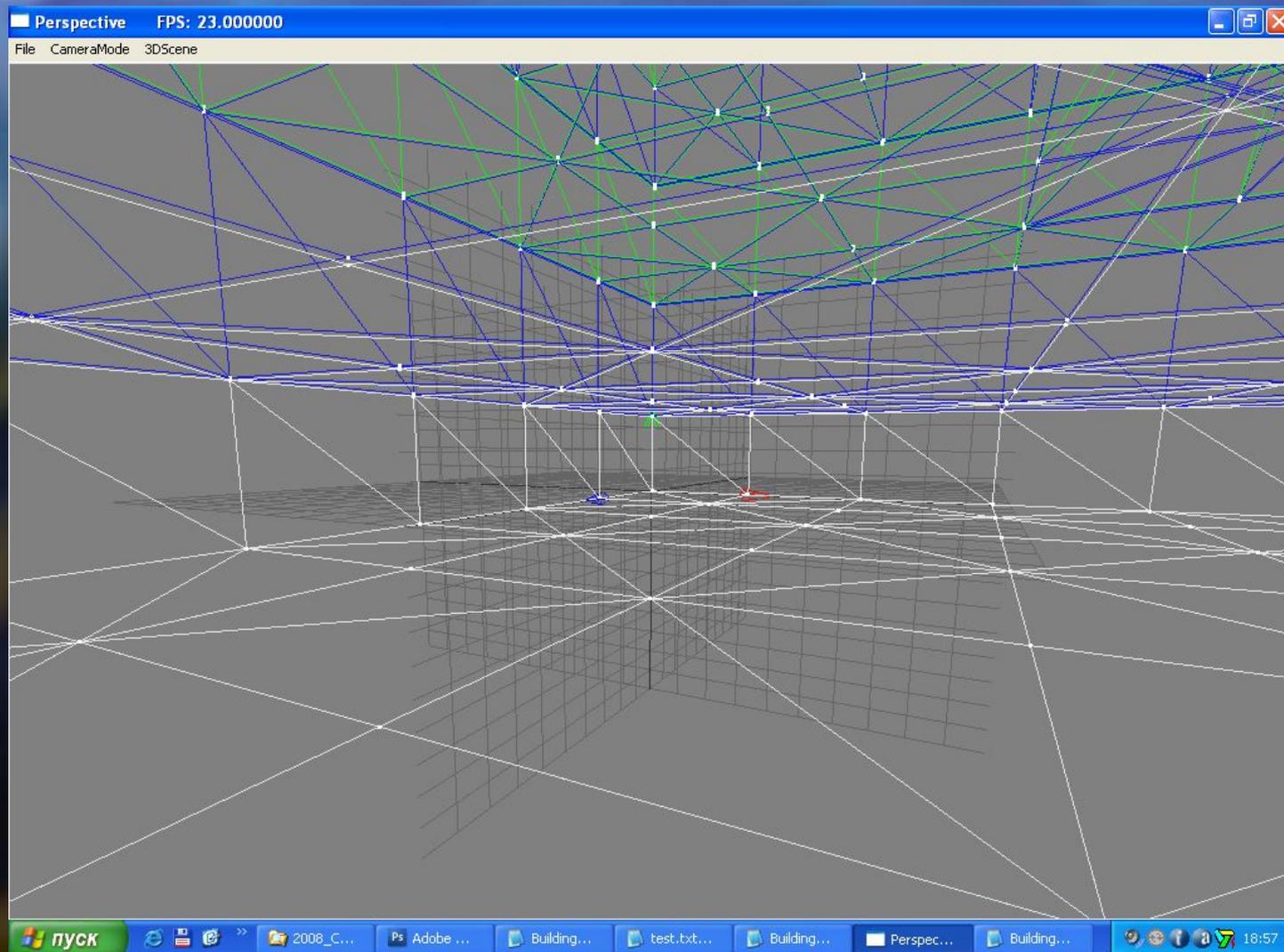
Программное обеспечение (ПО 2) – Perspective – 3-d визуализация (пример 5)



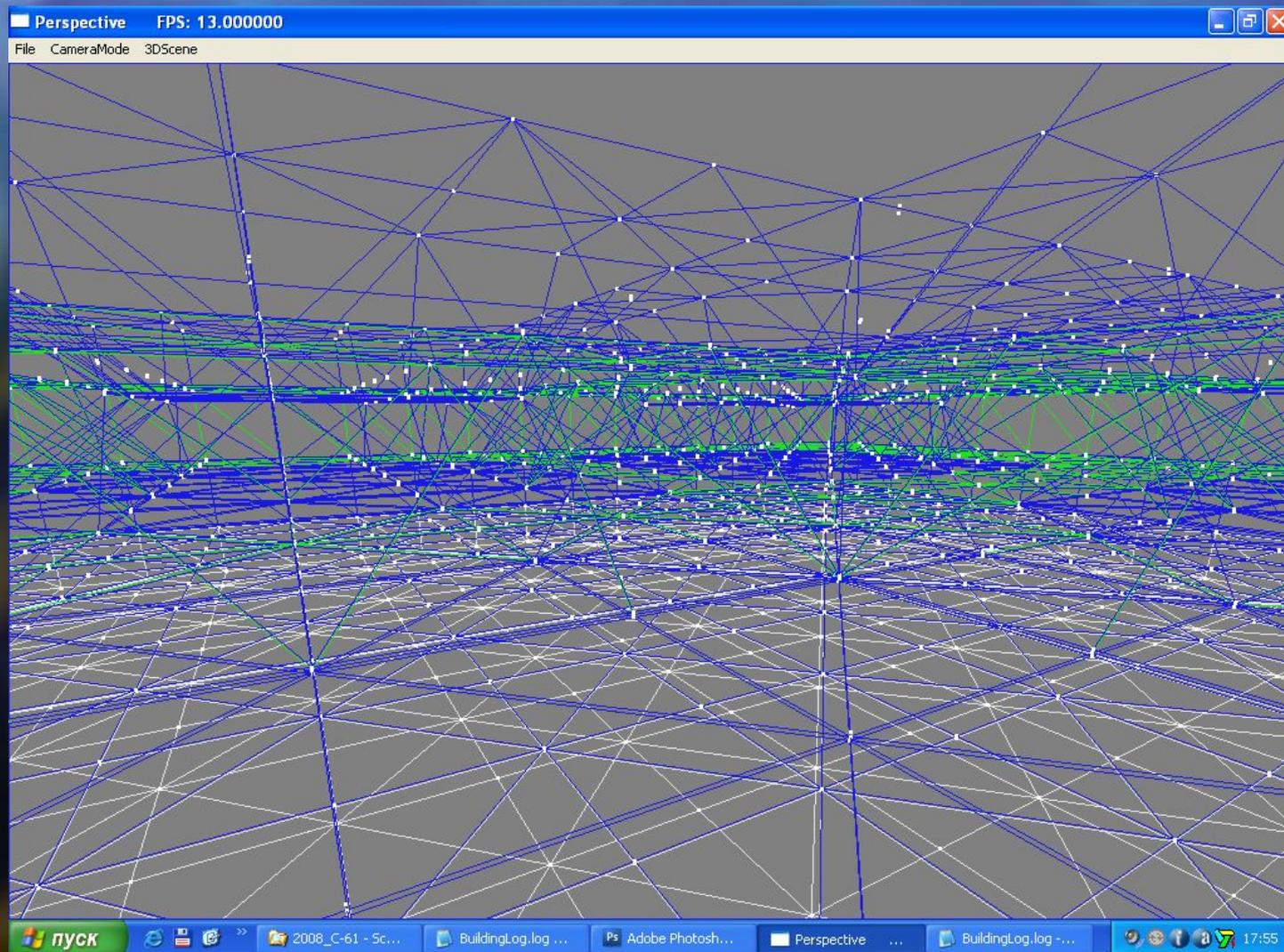
Программное обеспечение (ПО 2) – Perspective – 3-d визуализация (пример 6)



Программное обеспечение (ПО 2) – Perspective – 3-d визуализация (пример 7)



Программное обеспечение (ПО 2) – Perspective – 3-d визуализация (пример 8)



Результаты

- Система оптимальных математических моделей интеллектуальных элементов различной степени сложности для 3-d СБИС.
- Моделирующее программное обеспечение.
- Побочный культурологический эффект:
 - 3-d технологии в интернете (3-d сайты)

http://nadin.miem.edu.ru/my_img/3d_room/3d_p_1_1.html

Обучение

Разработан учебный курс,
включающий:

- курс лекций,
- практикум по компьютерному моделированию,
- тестирование на сайте <http://testing.miem.edu.ru>
- методические материалы

Дополнительная литература

- Трубочкина Н.К. Синтез на ЭВМ функционально-интегрированных элементов. Вопросы радиоэлектроники, сер. Технология производства и оборудование, вып.1, 1985, с.20.
- Трубочкина Н.К. Логические элементы статических БИС. М: МИЭМ, 1987.
- Трубочкина Н.К. Машинное моделирование функционально-интегрированных элементов. Учебное пособие. М.: МИЭМ, 1989.
- Трубочкина Н.К., Мурашев В.Н., Петросян Ю.А., Алексеев А.Е. Функциональная интеграция. Концепция. Электронная промышленность, 2000, № 4, с.49-70.
- Трубочкина Н.К., Мурашев В.Н., Петросян Ю.А., Алексеев А.Е. Функциональная интеграция элементов и устройств. Электронная промышленность, 2000, № 4, с.70-88.
- Трубочкина Н.К. Схемотехника ЭВМ. М: МИЭМ, 2008.

О руководителе научного направления

- Трубочкина Надежда Константиновна - доктор технических наук, профессор, Россия, Москва, МИЭМ, кафедра вычислительных систем и сетей.
- Работает в области информационных, компьютерных и интернет-технологий, занимается теоретическими разработками в области переходной схемотехники для 3-d СБИС.
- Автор более 80 научных работ и изобретений в области создания элементной базы и программного обеспечения для проектирования компьютерных систем.
- Читает лекции в Московском институте электроники и математики по компьютерной схемотехнике и Web-дизайну. Ведет курс в интернете по Flash-технологиям.
- Имеет сайты:
 - <http://nadin.miem.edu.ru>
 - <http://distant.miem.edu.ru>
 - <http://testing.miem.edu.ru>



Контакты:

- Адрес: Россия, 121109, Москва, Московский институт электроники и математики (МИЭМ), Б.Трехсвятительский пер., 3/12, кафедра «Вычислительные системы и сети» (ВСИС)
- Тел.: 916-8909
- E-mail:

nadin@miem.edu.ru

flash@miem.edu.ru