

Таблица 5. Прогноз вероятности смертельного исхода в отраслях экономики Удмуртской Республики на 2010–2014 гг.

Отрасль	2010	2011	2012	2013	2014
РАЗДЕЛ В. Рыболовство, рыбоводство	0,6 %	0,6 %	0,6 %	0,5 %	0,5 %
РАЗДЕЛ Г. Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования	20,0 %	20,0 %	19,0 %	16,9 %	15,9 %
РАЗДЕЛ Н. Гостиницы и рестораны	0,6 %	0,6 %	0,6 %	0,5 %	0,5 %
РАЗДЕЛ К. Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг	13,3 %	13,3 %	12,2 %	11,0 %	9,9 %
РАЗДЕЛ Н. здравоохранение и предоставление социальных услуг	32,3 %	32,3 %	30,5 %	28,7 %	26,8 %
РАЗДЕЛ О. Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	15,3 %	15,0 %	14,2 %	13,0 %	11,8 %

#### Список литературы

1. Севастьянов Б.В., Лисина Е. Б., Тюрикова И. Г. Управление безопасностью труда : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. В 2 ч. / под общ. ред. проф. Б. В. Севастьянова. – Ч. I. Государственное управление охраной труда. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2010. – 296 с.
2. Доклад «Состояние условий и охраны труда в Удмуртской Республике в 2009 году и меры по их улучше-

нию» // Министерство труда Удмуртской Республики. – URL: <http://mintrud.udmurt.ru/>

3. Севастьянов Б. В. Разработка модели прогнозирования и управления рисками повреждения здоровья работающими : Отчет по НИР по государственному контракту от 23 августа 2010 № 28/МТ-10 / Б. В. Севастьянов, А. П. Тюрин, Р. О. Шадрин, И. Г. Русяк, В. Г. Суфиянов, И. В. Васильева. – Ижевск : ИжГТУ, 2010.

*B. V. Sevastyanov*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University  
*R. O. Shadrin*, Postgraduate Student, Izhevsk State Technical University

#### Industrial Mortal Accidents Forecast in Udmurt Republic

*The industrial mortal accidents trends in economic sectors of the Udmurt Republic were examined. The mathematical model was developed, and the predicted index values were calculated.*

**Key words:** industrial safety, injury rate, forecasting the number of disability days, industrial mortal accidents.

УДК 681.3.01

**А. И. Мурынов**, доктор технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет  
**Е. М. Сенилова**, аспирант, Ижевский государственный технический университет

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ТЕТРАГОНАЛЬНОЙ РЕГУЛЯРНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННО ДЕФОРМИРУЕМОЙ СЕТИ

*Предложена TRN-модель для описания структуры поверхности пространственных 3D-объектов с учетом ее топологических свойств – гладкости и возможных нерегулярных образований различного порядка.*

**Ключевые слова:** трехмерный пространственный объект, трехмерная графика, тетрагональная регулярная сеть, формообразование и анимация объектов.

**М**оделирование трехмерных (3D) объектов (тел) в основном основано на использовании модели треугольной регулярной сети (TIN-модели), сопровождаемой небольшим набором стандартных примитивов тел с правильной геометрической формой. Несмотря на простоту TIN-модели и ее универсальный характер, обеспечиваемый возможностью аппроксимации любой поверхности посредством ее огранки треугольными плитками, следует признать, что эта модель дает слишком низкоуровневое и ресурсозатратное описание поверхностей тел. Моделирование динамики и анимация 3D-

сцен требуют задания новых структур данных, определяющих параметры и характер динамики. При этом тактовые состояния 3D-сцен и их проекции пересчитываются независимо на каждом такте работы системы.

Решение этой проблемы основано на модели тетрагональной регулярной пространственно деформируемой сети (TRN-модели) 3D пространственных объектов (тел). TRN-модель позволяет ликвидировать многие принципиальные трудности, возникающие при использовании TIN-модели, является гораздо менее ресурсозатратной и обеспечивает возможность полу-

чения более высокоуровневого иерархического представления пространственных объектов [1–3].

TRN-модель предполагает начальную укладку прямоугольной сети с квадратными ячейками единичного размера в плоскости, параллельной плоскости наблюдения, таким образом, чтобы стороны сети располагались по координатным осям, смещение (деформацию) узлов сети на поверхность тела и ее проецирование на плоскость наблюдения.

Таким образом, начальное состояние сети определяется тремя матрицами координат узлов сети размером  $m \times n$   $X = [x_{ij}]$ ,  $Y = [y_{ij}]$ ,  $Z = [z_{ij}]$ , где  $i = 1, 2, \dots, m$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ , а элементы этих матриц принимают значения  $x_{ij} = i - 1$ ,  $y_{ij} = j - 1$ ,  $z_{ij} = 0$ .

Для каждого элемента матриц связи соответствующего узла сети определяются соседними элементами по строке и по столбцу матриц (рис. 1).

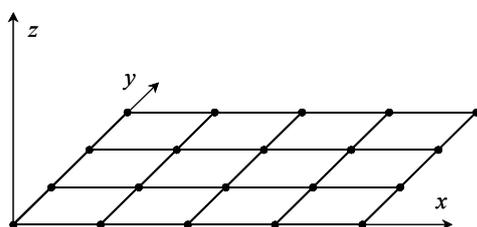


Рис. 1. Начальное состояние сети

Образование поверхности моделируемого тела производится путем деформации сети – перемещения узлов на поверхность тела. При этом используется представление о полях деформации пространства (ПДП), основанное на двух редко используемых на практике представлениях, а именно для преобразований пространства

$$\begin{cases} x^* = f_x(x, y, z) \\ y^* = f_y(x, y, z) \\ z^* = f_z(x, y, z) \end{cases}$$

допускается обращение якобиана преобразования в ноль.

Второе представление – изменение формы преобразования, представляемого в виде смещений точек пространства, что описывает преобразование как результат перемещения точки  $(x, y, z)$  в точку  $(x^*, y^*, z^*)$  и позволяет говорить о деформации всего пространства (хотя в геометрии такое представление не используется [4]):

$$\begin{cases} x^* = x + \varphi_x(x, y, z) \\ y^* = y + \varphi_y(x, y, z) \\ z^* = z + \varphi_z(x, y, z) \end{cases}$$

Для описания формы тела сеть деформируется путем задания ПДП в узлах сети. Таким образом, сеть покрывает поверхность тела, определяя ее

с точностью до тетрагональных участков, соответствующих ячейкам сети.

Деформация сети описывается оператором  $D$ , компоненты которого определяются матрицами  $D_x = [d_{xij}]$ ,  $D_y = [d_{yij}]$ ,  $D_z = [d_{zij}]$ , а результат деформации имеет вид  $DX = X + D_x$ ,  $DY = Y + D_y$ ,  $DZ = Z + D_z$ .

Поскольку якобиан преобразования может вырождаться в ноль, то в результате деформации возможна склейка узлов – совпадение конечных значений их координат. При этом возникают вопросы корректного представления геометрических и топологических особенностей поверхности на различных ее участках.

Можно показать, что для гладких поверхностей в окрестности каждой точки при малых размерах ячеек деформированной сети существует пространственная плоскостная конструкция из четырех циклически повторяющихся отрезков (ячейка деформированной сети), имеющая форму равнобедренной трапеции (коническое приближение; [4]). Такие ячейки образуются, например, при разграфке сферы по линиям параллелей и меридианов.

Однако образование замкнутой поверхности из плоской сети может сопровождаться образованием сингулярных точек – полюсов и точек замыкания, в которых происходят склейки целых групп узлов. Кроме того, форма поверхности многих тел характеризуется таким сочетанием граней, ребер и вершин, при котором доля подобных точек весьма значительна. К числу таких фигур относится, например, куб, для которого наложение на его поверхность тетрагональной сети приводит как минимум к образованию четырех сингулярных вершин с различным числом склеек узлов сети.

Следует различать локальные склейки узлов, принадлежащих одной ячейке сети, и нелокальные склейки, необходимые для формирования замкнутой поверхности.

Полная номенклатура всех возможных локальных склеек может быть получена при обходе ячейки по образующим ее узлам и связям, а также при обходе узла по окружающим его связям (рис. 2).

Нелокальные склейки узлов позволяют замкнуть сетью на поверхности тел. На рис. 3 показаны две разновидности сфероидального замыкания – цилиндрическое и коническое. Как видно из рисунка, в этих двух случаях размеры сети по ординате принимают значения 3 и 2 соответственно. При этом формируются цилиндроподобные (призмоподобные) и конусоподобные (пирамидоподобные) поверхности тел. Двойными стрелками на рисунке показаны совмещаемые при склейке узлы и связи.

Поскольку склейки узлов могут быть необходимы при формировании поверхностей тел некоторых определенных форм, таких, например, как куб, то сингулярности могут иметь характер групповых склеек. Для описания таких склеек узлов сети могут быть использованы графы инцидентий и соответствующая ему матрица инцидентий исходного графа сети.

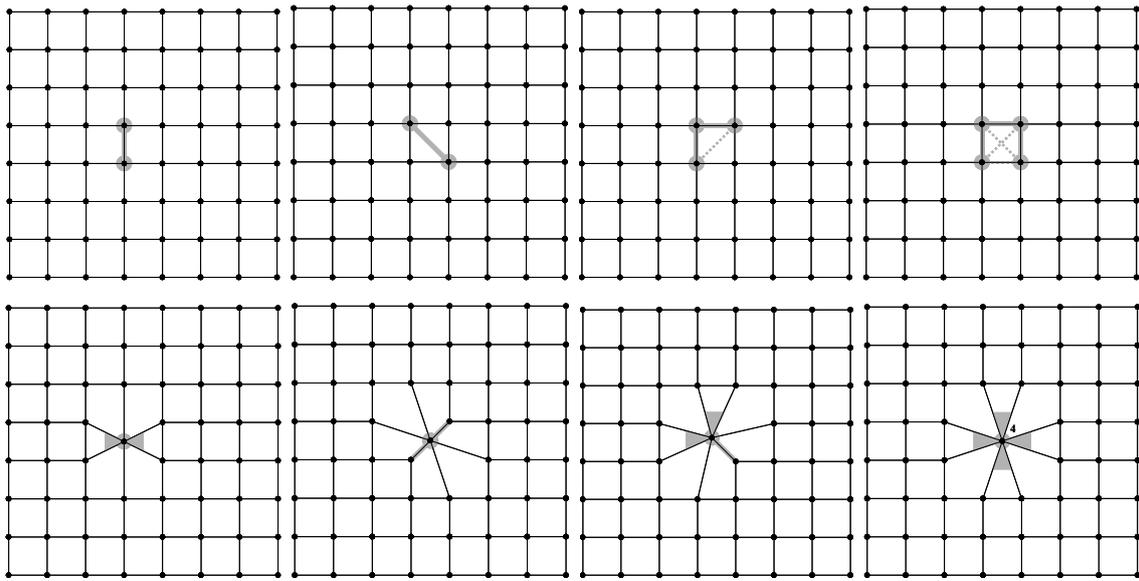


Рис. 2. Локальные склейки узлов различного порядка и смежности

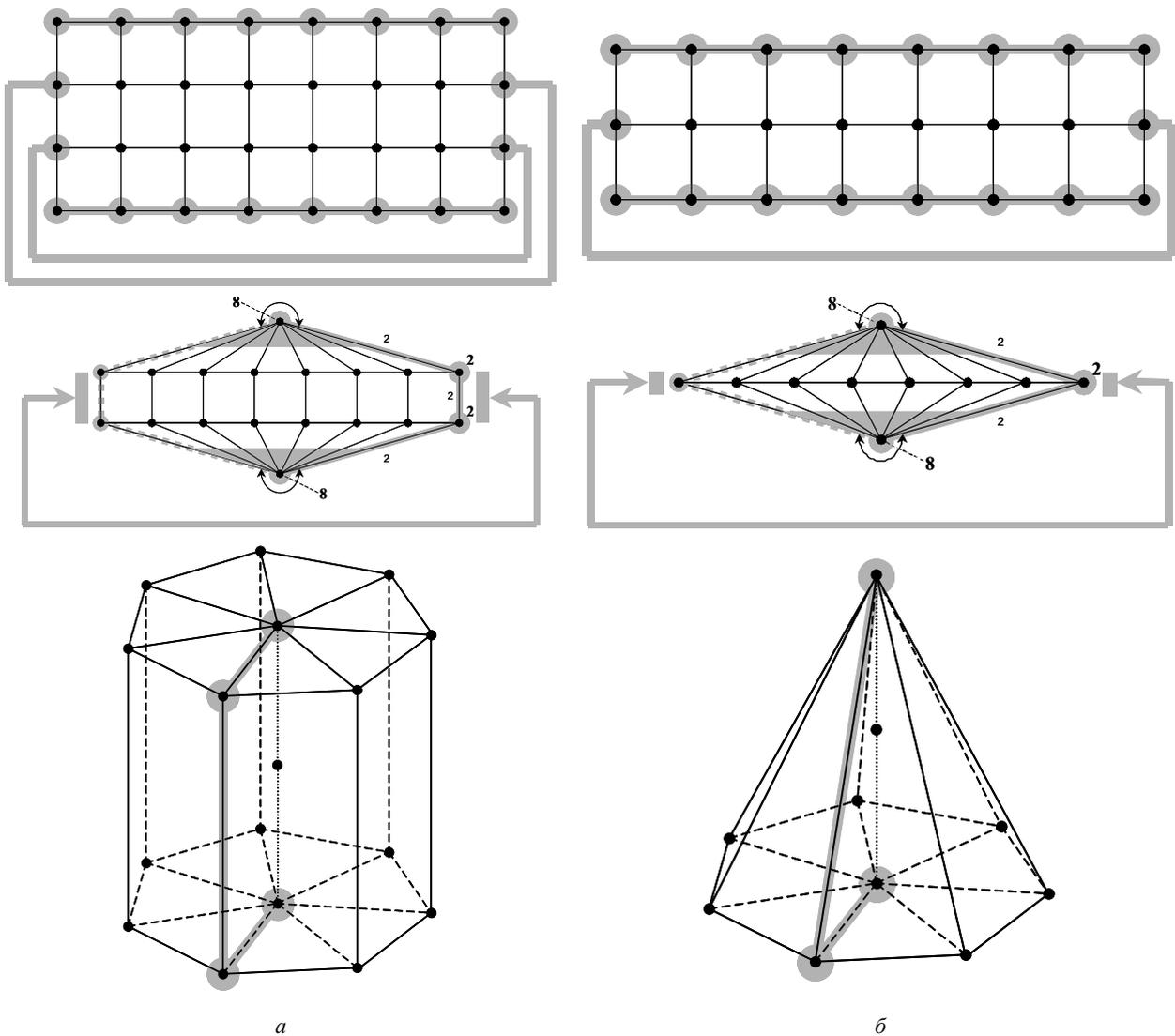


Рис. 3. Замыкания тетрагональной регулярной сети (TRN): *a* – цилиндрическое замыкание; *б* – коническое замыкание

Учет склеек узлов производится с помощью матриц инцидентий размера  $2m \times n$  (для случая двухполосного сфероидального замыкания, подобного разграфке поверхности сферы линиями параллелей и меридианов)  $C = [c_{ij}]$ , где  $i = 1, 2, \dots, 2m, j = 1, 2, \dots, n$ , где элементы матрицы  $c_{ij}$  принимают значение 1, если соответствующая связь подвергается склейке, или 0 – при отсутствии склейки. Таким образом, элементам

матрицы инцидентий соответствуют связи сети. При этом нечетным строкам матрицы соответствуют горизонтальные связи сети, четным строкам – вертикальные связи, последний столбец матрицы образуют связи, формирующие циклическое замыкание по каждой строке, последняя строка образована связями, формирующими циклическое замыкание по каждому столбцу. На рис. 4 показано формирование графа и матрицы инцидентий кубического замыкания TRN.

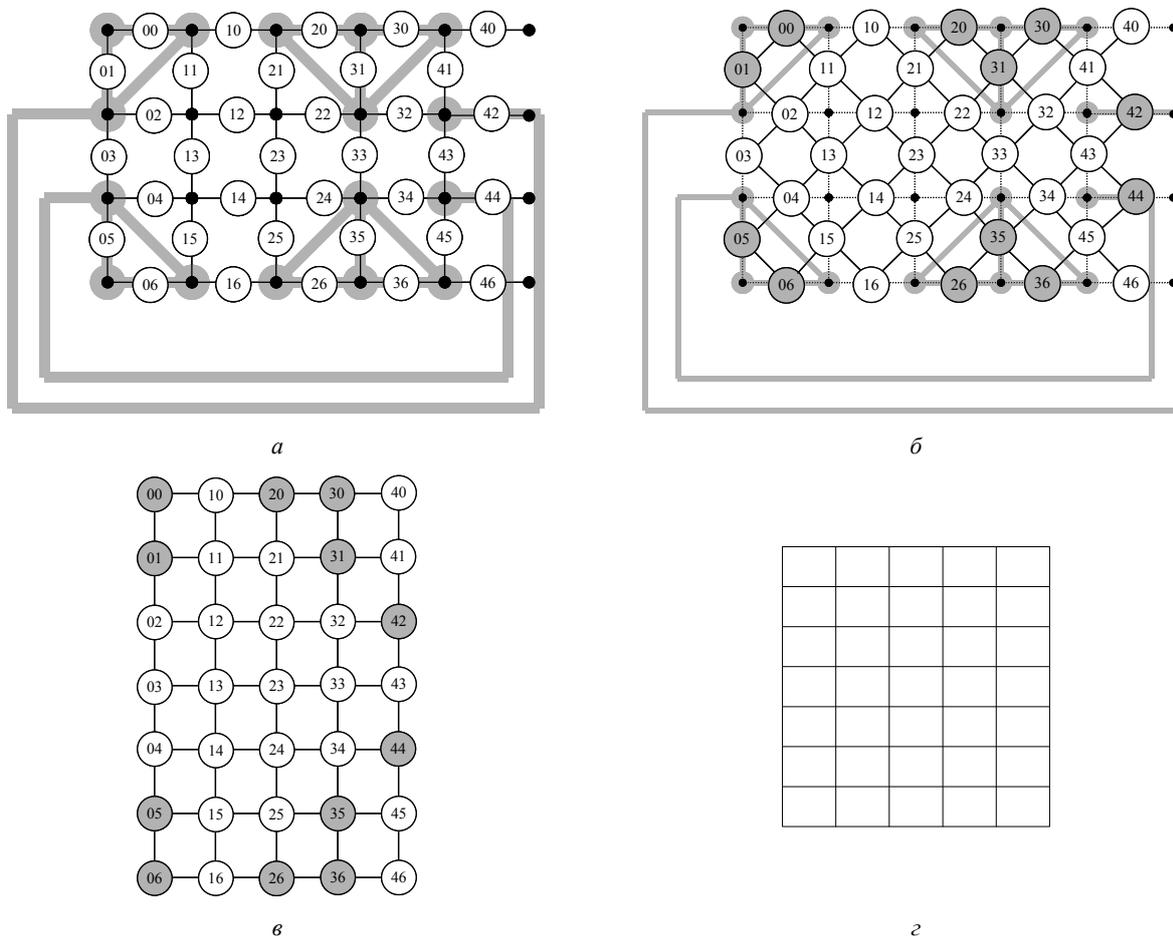


Рис. 4. Формирование графа и матрицы инцидентий кубического замыкания TRN: а – индексация связей TRN; б – формирование графа инцидентий; в – граф инцидентий; г – матрица инцидентий

Граф инцидентий (рис. 4, в) образован совокупностью вершин, соответствующих связям исходного графа сети, и связей между ними, прокладываемых в том случае, если связи исходного графа сети имеют общую вершину. Поэтому для получения графа инцидентий необходимо проиндексировать связи исходного графа сети (рис. 4, а) и при наличии общей вершины исходного графа сети проложить между ними связи (рис. 4, б). Матрица инцидентий (рис. 4, г) является по существу структурой данных, описывающей склейки тетрагональной регулярной сети и отражающей топологические свойства поверхности тела, полученного в результате сингулярной деформации сети.

При формировании проекций тел необходимо учесть, что изменение плоскости наблюдения эквивалентно соответствующему перемещению тела. Ад-

дитивное представление деформаций сети позволяет реализовать динамику – деформации поверхности тела и его перемещения (рис. 5), а также его движения путем последовательного применения операторов ПДП с малыми приращениями значений координат узлов сети (рис. 6) [5].

Поэтому формирование новой проекции может иметь вид оператора деформации  $D_1$ , определяющего перемещение тела в пространстве. Это позволяет использовать в качестве базовой проекцию на плоскость, параллельную плоскости  $XY$  с направлением наблюдения, обратным направлению оси  $Z$ , и полностью определяет базовую проекцию компонентами  $D_1DX = X + D_x + D_{1x}$  и  $D_1DY = Y + D_y + D_{1y}$ .

Решение задачи экранирования ячеек сети при проецировании выпуклых тел заключается в вычис-

лении индикационной матрицы, которая определяет для каждой ячейки направление порядка обхода узлов ее проекции. Индикационная матрица размера  $(m-1) \times (n-1)$  имеет вид  $R = [r_{ij}]$ , где элемент матрицы  $r_{ij}$  принимает значение 1 при направлении обхода ячейки по часовой стрелке, либо значение 0 – при обратном направлении обхода. С помощью индикационной матрицы отбираются только видимые со стороны наблюдателя ячейки деформированной сети с единичным значением элемента матрицы. Для невыпуклых тел решение задачи экранирования достигается путем использования Z-буфера узлов сети.

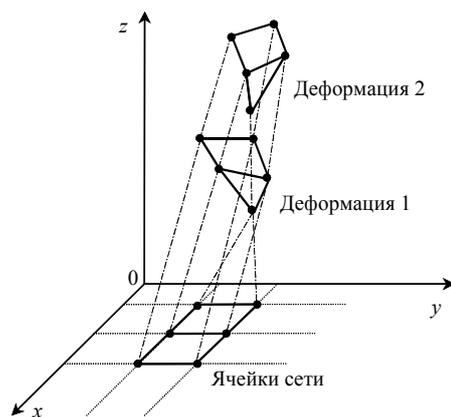


Рис. 5. Композиция деформаций сети

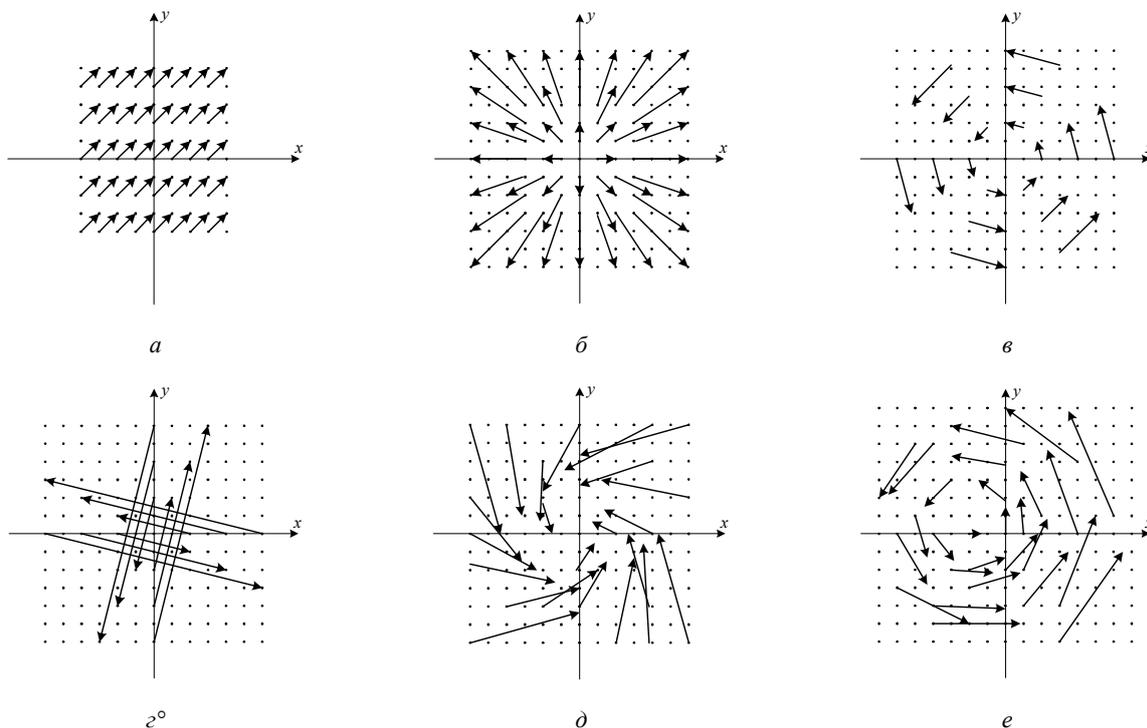


Рис. 6. ПДП различных видов движений: а – трансляция; б – гомотетия; в – ротация  $\alpha = 30^\circ$ ; з – ротация  $\alpha = 135^\circ$ ; д – гомотетия и ротация  $\alpha = 45^\circ$ ; е – трансляция и ротация  $\alpha = 45^\circ$

Свойство аддитивности ПДП позволяет единообразно описывать процессы формообразования тел, пластичного изменения их формы и последовательного изменения их положения в пространстве при различных видах движения. В этом случае закон движения определяется последовательностью операторов деформации сети, соответствующих малым приращениям координат. Проецирование полученных состояний деформированной сети обеспечивает получение серии последовательных изображений и тем самым позволяет анимировать объекты 3D-сцен.

Таким образом, модель TRN позволяет построить эффективные алгоритмы преобразований трехмерных тел и алгоритмы построения их центральных и параллельных проекций на заданную плоскость при заданных параметрах проецирования, что по сравнению с известными методами [6] существенно

повышает производительность вычислений и снижает их ресурсоемкость. Предложено использование как нестандартных представлений для формирования моделей формообразования и анимации трехмерных объектов, допускающих склеивание точек пространства и представляющих преобразования как результат деформаций пространства, так и использование тетрагональной регулярной сети для моделирования пространственных объектов и их геометрико-топологических анимаций. За счет применения полей деформации пространства была достигнута ускоренная анимация трехмерных сцен.

#### Список литературы

1. Макарова О. Л., Мурынов А. И., Сенилова Е. М. Тетрагональная регулярная сеть как модель пространственных объектов размерности 3 // Информационные технологии в науке,

социологии, экономике и бизнесе. Материалы 33-й Международной конференции (Украина, Крым, Ялта – Гурзуф) : прилож. к журн. «Открытое образование». – 2006. – С. 181–182.

2. *Мурынов А. И., Сенилова Е. М.* Тетраэдральная сетевая модель трехмерных пространственных объектов и сцен : Сб. докладов X Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям. – Т. 1. – СПб. : Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007. – С. 162–165.

3. *Сенилова Е. М.* Трехмерное представление геометрико-топологических пространственных объектов с помощью тетраэдральной регулярной пространственной сети // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе : Материалы 37-й Международной

конференции (Украина, Крым, Ялта – Гурзуф) : прилож. к журн. «Открытое образование». – 2010. – С. 309–311.

4. *Александров А. Д., Нецветов Н. Ю.* Геометрия. – М. : Наука, 1990. – 672 с.

6. *Павлидис Т.* Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. – М. : Радио и связь, 1986. – 400 с.

5. *Мурынов А. И., Сенилова Е. М.* Процессы формообразования, анимации и проецирования трехмерных пространственных объектов с использованием тетраэдральной регулярной сетевой модели // Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе : Материалы 36-й Международной конференции (Украина, Крым, Ялта – Гурзуф) : прилож. к журн. «Открытое образование». – 2009. – С. 117–119.

*A. I. Murynov*, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

*E. M. Senilova*, Postgraduate Student, Izhevsk State Technical University

### 3D Object Modeling Based on Tetragonal Regular Spatially Deformable Grid

*The article discusses TRN model for the description of the surface structure of spatial 3D objects based on its topological properties: smoothness and possible non-regular features of different types.*

**Key words:** three-dimensional spatial object, three-dimensional graphics, tetragonal regular grid, geometry generation and animation of objects.

УДК 62-5.519.1

**Д. И. Барбашин**, аспирант, Ижевский государственный технический университет

**А. И. Нистюк**, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДНИХ ПАНЕЛЕЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

*Предложены разработанные модели передних панелей электронных средств, в частности телекоммуникационных устройств, и алгоритм оптимальной компоновки органов управления и средств отображения информации.*

**Ключевые слова:** надежность, передняя панель, телекоммуникационные устройства, оператор электронных средств, компоновка.

**П**роблема взаимодействия человека и машины, оператора и электронной системы (ЭС) с развитием техники не теряет своей актуальности. Несмотря на развитие и усложнение техники, возможности оператора практически остаются неизменными. Согласованная работа оператора и ЭС во многом определяет безошибочность работы системы «оператор – ЭС» (О – ЭС), а значит, и ее надежность [1]. Таким образом, один из путей повышения общей надежности системы О – ЭС заключается в обеспечении оптимального взаимодействия оператора и технических средств, элементом связи которых является приборная панель (ПП). Оптимальность компоновочного решения ПП возможно оценить минимальным временем регулирования и/или минимальным числом ошибок оператора. Выделен следующий ряд критериев, определяющих оптимальность конструкции ПП.

#### Функциональная взаимосвязь элементов ПП

$K_1$ : для элементов группы  $x_{fi} \in X_f$ ,  $i = \overline{1, n}$ ;  $n$  – число элементов в функциональной группе  $f$ ,  $f = \overline{1, q}$ ;  $q$  – общее число функциональных групп.

#### Частота использования

$K_2$ : при  $m \rightarrow \infty$ ,  $a \rightarrow 0$  и  $b \rightarrow 0$  для  $x_{fi} \in X_f$ ,  $x_{fi}^m(a, b)$ , где  $m$  – вес элемента  $x_{fi}$ ;  $a, b$  – координаты по осям абсцисс и ординат соответственно.

#### Минимальная длина прохождения маршрута обслуживания

$K_3$ : при  $d = \sqrt{(a_{u+1} - a_u)^2 + (b_{u+1} - b_u)^2}$ ,  $d \rightarrow 0$ ,

где  $u$  – номер действия оператора по маршруту обслуживания.

Задача размещения ставится как задача оптимизации многокритериальной функции:  $F_{opt} \Rightarrow \Rightarrow \text{opt}[K_1 \wedge K_2 \wedge K_3]$ . Входными данными для алгоритма являются: модель передней панели электронного средства (рис. 1), представленная в виде графа  $G_1$  [2], а также состав функциональных групп элементов в виде множества  $G_f$ . Данный алгоритм содержит элементы генетического алгоритма [3], так как оценивает и отбирает наиболее благоприятные посадочные места для компонентов, то есть те вари-