

УДК 744:621(076.5)

**ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ  
ЭЛЕМЕНТОВ САПР ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ  
КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ЯЗЫКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**А.Ю. Лешкевич**, канд. техн. наук, доцент,

**Д.В. Клоков**, канд. техн. наук, доцент

*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

**А.А. Гарабажиу**, канд. техн. наук, доцент,

**Е.А. Леонов**, канд. техн. наук, доцент

*Белорусский государственный  
технологический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

Ключевые слова: функциональный конструктивный элемент, синтез изображений, язык геометрического моделирования

Аннотация. В статье рассмотрены преимущества параметризации компьютерного программирования изображений конструктивных элементов встроенными в графический пакет средствами. Представлены примеры описания функциональных элементов принципиальных кинематических схем на языке AutoLISP системы AutoCAD и методика синтеза принципиальных схем.

Опыт широкого применения современных графических компьютерных пакетов, значительно облегчающих и ускоряющих труд проектировщика, позволяющий уже на стадии проектирования исследовать работоспособность разрабатываемого объекта, привел к появлению и бурному развитию библиотек или компьютерных баз данных, имеющих графические фрагменты, вызываемые либо в размерах, хранящихся в базе, либо масштабированием, если это приемлемо. Программирование фрагментов в текстовом варианте в безразмерном виде, вызываемые при синтезе изображений, уже в конкретных размерах обладает широкими возможностями и удобством пользования. Такое программирование может осуществляться на базе пара-

метризации и встроенного в графическую систему языка текстового программирования.

Практика обучения методикам компьютерного выполнения чертежей показала, что их общим недостатком является значительная доля репродуктивной, рутинной, нетворческой работы. Применение современных графических пакетов помогает значительно упростить построение изображений. Ряд таких пакетов имеют встроенные языки программирования, позволяющие перевести графические построения в текстовую форму, в которой удобно создавать и программировать функциональные элементы или разбивать изображение на простейшие геометрические фигуры.

В нашем исследовании особое внимание обращено на весьма обширную группу специфических изображений – кинематических принципиальных схем, применяемых в машиностроении (авиа-, авто-, станкостроении) при проектировании коробок передач, раздаточных коробок, редукторов, движителей автомобилей, коробок скоростей станков. При этом ряд схем (электрических, пневматических, гидравлических, электронных) состоит из условно изображаемых стандартных элементов с постоянными размерами в безразмерном буквенном (т.е. параметрическом) виде.

Параметрическое моделирование (параметризация) – моделирование (проектирование, программирование) с использованием параметров и соотношений вместо конкретных размеров. При этом модель должна быть достаточно универсальной, что определяет степень ее применимости. Параметрическое моделирование существенно отличается от обычного двумерного черчения. Параметризация – это создание на стадии проектирования своего рода математической модели объектов с параметрами, которые могут существенно изменять не только размеры объекта, но и его геометрическую форму.

Параметрическое моделирование использует вместо конкретных размеров модели и ее элементов параметры этой модели и их соотношения. Присваивание этим параметрам определенных размеров или их соотношений, т.е. применение вари-

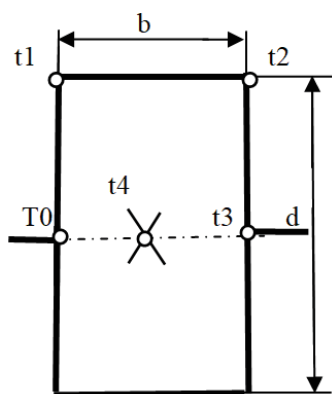
ционной параметризации, позволяет всесторонне исследовать функциональные особенности разрабатываемого изделия и выбрать оптимальные форму и размеры [1–6].

Проведенный анализ принципиальных схем и соответствующих стандартов позволил сформировать унифицированные конструктивные элементы и разработать кодировочные схемы с разбивкой на опорные точки для описания на языке геометрического моделирования (ЯГМ), к примеру, AutoLISP, встроенного в графический пакет AutoCAD. В качестве иллюстрации приведем методику синтеза фрагментов кинематических схем на базе методического пособия [6].

При создании кодировочных схем объект анализировался на возможность применения операций симметричного отображения, параллельности, перпендикулярности и т.д.

При кодировке использовалась весьма удобная полярная система координат, в которой угол  $0^\circ$  обозначен как *ugg* (угол горизонтальный), а угол  $90^\circ$  – *ugv* (угол вертикальный). Так как в Автолиспе, как и в других языках программирования, угол измеряется в радианах, стандартная функция *(dtr ugv)* и *(dtr ugg)* преобразует градусы, пользоваться которыми удобнее, в радианы.

На рисунке представлены некоторые фрагменты вариативных (изменяющих только вертикальные и диаметральные размеры) условных обозначений с соответствующей кодировкой и вычерчиванием на ЯГМ AutoLISP.



Кодировочная схема цилиндрической шестерни, жестко связанной с валом на ЯГМ AutoLISP (вариант 1)

```
Кодировка: (defun kz1 (t0 d b))
  (setq
    t0 (getpoint " n Базовая точка
    KZ1:"))
    t1 (polar t0 (dtr 90) (/ 2 d))
    t2 (polar t1 (dtr 0) b)
    t3 (polar t0 (dtr 0) b)
    t4 (polar t0 (dtr 0) (/ 2 b))
```

Вычерчивание:

```
(setq  
(command t0 "Ш" ts ts "ТИПЛИН" "У" "CONTINUOUS" t1 t2 t3  
""  
"ЗЕРКАЛО" t0 t3 "" " ПЛИНИЯ" t0 (- 5 (dtr 180)) "" "ТИПЛИН"  
t3 (+ 5  
(dtr 0)) "" "ОТРЕЗОК" t4 (+ 5 (dtr 45)) "" "ОТРЕЗОК" t4 (+ 5 (dtr  
135))  
"" "ОТРЕЗОК" t4 (- 5 (dtr 225)) "" "ОТРЕЗОК" t4 (+ 5 (dtr 315))  
"" "ПЛИНИЯ" t0 (- 10 (dtr 180)) "" "ПЛИНИЯ" t0 (+10 (dtr)) "")
```

Имея закодированное изображение конструктивного элемента (КЭ) можно синтезировать любую кинематическую принципиальную схему, вставляя КЭ в нужные места.

Разработанные подходы к реализации методик синтеза запрограммированных изображений на чертежах при параметрическом моделировании позволяют уже на стадии проектирования выбрать оптимальный вариант из множества возможных. В итоге вместо множества чертежей остаются текстовые головные программы сборочных чертежей и подпрограммы для конструктивных элементов, что приводит к значительной экономии оперативной памяти компьютера, так как текстовые файлы занимают мало места.

### Список литературы

1. Муленко, В. В. Сборник практических работ по применению САПР AutoCAD при проектировании машин и оборудования нефтегазовых промыслов / В. В. Муленко, М. Г. Блохина. – Москва : Изд. центр РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2016. – 129 с.
2. Лешкевич, А. Ю. Разработка параметризованных конструктивных элементов для выполнения сборочных чертежей машиностроительных узлов / А. Ю. Лешкевич, Д. В. Клоков, С. В. Гиль // Автотракторостроение и автомобильный транспорт : сб. научных трудов Междунар. науч.-практ. конф. : в 2-х т., Минск, 25–28 мая 2021. г. – Минск : Белорусский национальный техн. ун-т, 2021. – Т. 2. – С. 353–356.
3. Leshkevich, A. About Necessity to Learn the Engineering Graphic for the Specialists in Technical and Technology Districts Human Activity / A. Leshkevich, S. Gil, D. Klokov // Автомобиле- и тракторостроение : материалы Междунар. науч.-практ. конф. : в 2-х т., Минск, 24–27 мая 2019 г. –

- Минск : Белорусский национальный техн. ун-т, 2019. – Vol. 2. – P. 322–325.
4. Параметризованное моделирование объектов машиностроительного применения / А. Ю. Лешкевич, Д. В. Клоков, В. М. Игнатовец, И. Д. Денисюк // Автотракторостроение и автомобильный транспорт : сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. : в 2-х т., Минск, 24 мая – 10 июня 2022 г. – Минск : Белорусский национальный техн. ун-т, 2022. – Т. 2. – С. 286–290.
  5. Лешкевич, А. Ю. Разработка схематических конструктивных элементов для компьютерного синтеза сборочного чертежа редуктора / А. Ю. Лешкевич, С. В. Гиль, Д. В. Клоков // Автотракторостроение и автомобильный транспорт : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. : в 2-х т., Минск, 25–28 мая 2021 г. – Минск : Белорусский национальный техн. ун-т, 2021. – Т. 2. – С. 349–352.
  6. Инженерная графика. Практикум по выполнению кинематических схем : учеб.-метод. пособие для студентов вузов по техническим специальностям / Белорус. нац. техн. ун-т, Каф. инженерной графики машиностроит. профиля ; А. Ю. Лешкевич, С. В. Гиль, П. В. Зелёный, Т. А. Марамыгина ; под ред. П. В. Зелёного. – Минск : БНТУ, 2014. – 42 с.

УДК 656.11

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ НАДЗЕМНОГО ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА**

**В.А. Лодня**, канд. техн. наук, доцент

*Белорусский государственный университет транспорта,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

**Т.В. Лодня**, вед. специалист

*ОАО «Гипроживмаш»,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

Ключевые слова: транспортная сеть, надземный транспорт, 3D-модель, многоуровневые направляющие

Аннотация. Рассматриваются концепция создания и проектные решения надземного городского транспорта г. Гомеля с применением BIM- и CAD-технологий.