

- тербург: ФГУП ЦНИИТС. – Режим доступа: <http://www.gpss.ru/immod%2703/index.html>. – Название с экрана.
3. Зайцев И. В., Обухов А. Н., Демиденко В. Т., Мешкова А. Ф. Оценка эффективности защиты информации в линиях радиосвязи в условиях преднамеренных помех // Информация и безопасность. Вып. 3. – Воронеж: ВГТУ, 2002. – С. 115–118.
  4. Зайцев И. В., Молев А. А. Оценка эффективности систем радиосвязи в условиях преднамеренных помех на основе агрегативного имитационного моделирования их функционирования // Материалы II Всероссийской конференции (ИММОД-2007), 23–24 окт. 2007 г. ФГУП ЦНИИТС. – Режим доступа: <http://www.gpss.ru/immod07/doklad/20.html>. – Название с экрана.
  5. Задорожный В. Н., Донец А. А. Алгоритм структурной оптимизации сетей с очередями // Материалы II Всероссийской конференции (ИММОД-2007), 23–24 окт. 2007. – С.-Петербург: ФГУП ЦНИИТС. – Режим доступа: <http://www.gpss.ru/immod07/doklad/18.html>. – Название с экрана.
  6. Задорожный В. Н., Ершов Е. С., Канева О. Н. Использование адаптивных приближений в алгоритмах параметрической оптимизации сетей с очередями // Третья российская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности. – СПб.: ЦНИИТС, 2007. – Режим доступа: <http://www.gpss.ru/immod07/doklad/19.html>. – Название с экрана.
  7. Воробейчиков Л. А., Сосновиков Г. К. Методические указания для слушателей ФПКП по моделированию систем и сетей связи на GPSS/PC. – М.: МТУСИ, 1993. – 59 с.
  8. Бражник А. И. Имитационное моделирование: возможности GPSS WORLD. – СПб.: Реноме, 2006. – 439 с.
  9. Томашевский В., Жданова Е. Имитационное моделирование в среде GPSS. – М.: Бестселер, 2003. – 416 с.
  10. Руководство пользователя по GPSS World / Перевод с английского. – Казань: Мастер Лайн, 2002. – 384 с.

Надійшла 5.06.2008  
Після доробки 22.10.2008

*У статті представлено механізм оптимізації каналів мереж з послідовними чергами пакетів захищеної інформації на основі імітаційного моделювання. Рішення задачі представлено на основі вірогідності і функції розподілу захищених пакетів, які прибувають на один канал.*

*In the paper the gear of optimization of network's channels with sequential queues of packets of the protected information on the basis of simulation modeling is represented. The solution of a specific target is adduced in view of probability and cumulative distribution function arriving, protected packets to one channel.*

УДК 681.5.001.63: 519.711

А. А. Лисняк, С. И. Гоменюк

## ПРИМЕНЕНИЕ R-ФУНКЦИЙ ДЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

*В статье рассматривается задача построения геометрических моделей инженерных конструкций нестандартной формы. Выполнен обзор основных методов представления геометрических моделей в современных САПР. Описано применение аппарата функций В. Л. Рвачева для формального описания и последующей дискретизации плоских геометрических объектов сложной формы.*

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Построение и дискретизация адекватных геометрических моделей инженерных конструкций и сооружений является актуальной задачей, возникающей в различных приложениях численного анализа и САПР. На практике, как правило, приходится иметь дело с объектами сложной формы, что существенно затрудняет построение таких моделей и их последующую дискретизацию на конечные элементы. В то же время, от точности построенной геометрической модели будет напрямую зависеть качество полученного численного результата.

Данную проблему можно разбить на две самостоятельных задачи:

© Лисняк А. А., Гоменюк С. И., 2009

1) автоматизация построения геометрических (топологических) моделей инженерных конструкций сложной формы;

2) автоматизация разбиения топологической модели на конечные элементы заданного вида.

К настоящему времени предложены различные способы геометрического моделирования разнообразных тел двух- и трехмерной формы. Условно их можно классифицировать следующим образом:

– *параметрическое описание границы* (или поверхности), когда на специальном входном языке (например, GRUMMP [1]) или в специальном формате (например, STL [2]) описываются граничные сегменты, образующие замкнутую геометрическую фигуру;

– *твердотельное геометрическое моделирование*, когда трехмерная геометрическая модель реконструируется по чертежам трех ее проекций [3];

– *композиция топологической модели* необходимой конструкции, как некоторой совокупности базовых геометрических примитивов (например, линий, сплайнов, сфер и т. п.) и Эйлеровых операций (логическое объединение, пересечение и вычитание) над ними [4].

У каждого из этих подходов есть ряд недостатков. Параметрическое описание границы является достаточно трудоемким процессом для тел сложной формы (особенно пространственных). Твердотельное моделирование не всегда позволяет получить геометрическую модель, пригодную для последующей автоматической дискретизации. Композиция топологической модели из базовых геометрических примитивов ограничена их набором и не позволяет описывать произвольные области.

Таким образом, проблема создания универсального способа геометрического моделирования инженерных конструкций и сооружений произвольной формы по-прежнему остается открытой. Следовательно, возникает необходимость разработки альтернативных методов формального описания инженерных конструкций, особенно неклассической формы, и, соответственно, методов построения дискретных моделей представленным подобным образом. Одним из возможных вариантов описания геометрических тел является применение в этих целях аппарата теории R-функций.

В данной статье приведено описание разработанного подхода к геометрическому моделированию плоских областей произвольной формы с использованием математического аппарата функций В. Л. Рвачева, являющегося мощным аналитическим способом описания плоских и пространственных геометрических областей [5].

### МЕТОДЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ОПИСАНИЯ ТОПОЛОГИИ ОБЪЕКТОВ

Описание топологии геометрических объектов в инженерных задачах требует наличия формализованных правил, принципов и средств, которые будут использоваться в дальнейшем процессе построения дискретных моделей. Чаще всего для непосредственного задания геометрической области используются различные способы граничных представлений и конструктивная геометрия.

*Граничное представление* (BREP – Boundary Representation) является одним из наиболее простых и широко применяемых форматов описания топологии двух- и трехмерных геометрических объектов. Простота данного метода заключается в том, что граница (поверхность) объекта заменяется набором соответствующих отрезков (полигональных плоскостей), в той или иной мере приближающих границу исходной области. Примером такого подхода является универсальный формат IGES (Initial Graphics Exchange Specification), который используется для обмена данными между различными САПР и графическими приложениями. IGES является стандартом ANSI для передачи рисунков и трехмерных графических моделей. Однако, процесс построения описания топологии

объекта в формате IGES (особенно в трехмерном случае) является весьма трудоемким. Для его упрощения предлагается использовать R-функции.

Аппарат теории функций В. Л. Рвачева позволяет аналитически описать границу произвольного геометрического объекта. Процесс ее описания сводится к заданию некоторой функции с координатными аргументами, принимающей нулевые значения на границе области, положительные значения внутри области и отрицательные – за ее пределами. R-функция строится по определенным правилам. Сначала задаются «опорные функции», которые определяют необходимые базовые геометрические примитивы на плоскости или в пространстве, а затем при помощи R-операций строится их необходимая комбинация, образующая требуемую область (рис. 1).

Базовые R-операции объединения, пересечения и отрицания для образующих функций описываются так, как это показано в выражении

$$\{R\} \equiv \begin{cases} x \wedge y = x + y - \sqrt{x^2 + y^2}, \\ x \vee y = x + y + \sqrt{x^2 + y^2}, \\ \bar{x} = -x. \end{cases}$$

Для формального описания геометрических моделей с помощью R-функций в САПР необходимо наличие специализированного языка. В разработанной системе геометрического моделирования для этих целей используется язык FORTU-3, являющийся входным в системе FORTU-FEM [6]. Пример описания R-функции на языке FORTU-3 приведен на рис. 2.

$$\begin{aligned} F_1 &= 16 - x^2, \\ F_2 &= 16 - y^2, \\ F_3 &= 20 - x^2 - y^2, \\ F_4 &= y - e^{-x^2}, \\ F &= (F_1 \wedge F_2 \wedge F_3) \wedge (-F_4) \end{aligned}$$

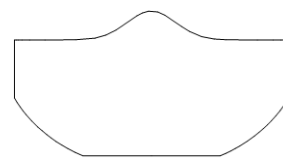


Рисунок 1 – Пример геометрической области и соответствующей ей R-функции

*!Волнистая лента*  
**Argument** x,y  
**Function** F, F1, F2, F3, F4, F5  
 $F=25-x*x-y*y$   
 $F1=y-\sin(x+0.5)$   
 $F3=y-2*\sin(x)$   
 $F4=F1-F3-(F1*F1+F3*F3)*0.5$   
 $F5=F+F4-(F*F+F4*F4)*0.5$



Рисунок 2 – Пример описания геометрической области с помощью языка FORTU-3

### АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ СЕТКИ

В данной статье рассматривается применение R-функций для компьютерного моделирования и дискретизации плоских геометрических областей. Автоматизация использования аппарата R-функций сопряжена с рядом проблем, связанных с исходным аналитическим способом описания области моделирования. Большинство существующих алгоритмов строят триангуляцию на базе заданного множества опорных точек. Получение набора опорных точек для аналитически заданной с помощью R-функции области является наиболее сложной проблемой, т. к. определение точек, принадлежащих нулевой границе области является весьма трудоемким процессом.

Дискретизация плоской области на треугольные конечные элементы сводится к построению триангуляции для заранее заданного набора точек на границе объекта с последующим добавлением новых узлов в процессе уточнения границ области, а также оптимизации полученной триангуляции. Таким образом, исходную проблему можно разбить на следующие задачи:

- формирование опорного набора точек;
- выбор алгоритма дискретизации;
- определение точности отображения границы;
- нахождение острых углов на границе области;
- оптимизация полученного разбиения.

*Опорный набор точек* – это узлы на границе области, описанной при помощи R-функции. Они необходимы для построения начальной (каркасной) триангуляции области моделирования. Нахождение опорного набора точек можно формально описать в виде следующей последовательности шагов:

- 1) выбор подходящей системы координат (например, декартовой или полярной) для построения регулярной сетки;
- 2) выбор заведомо покрывающего исходную моделируемую область начального бокса (форма которого зависит от выбранной системы координат);

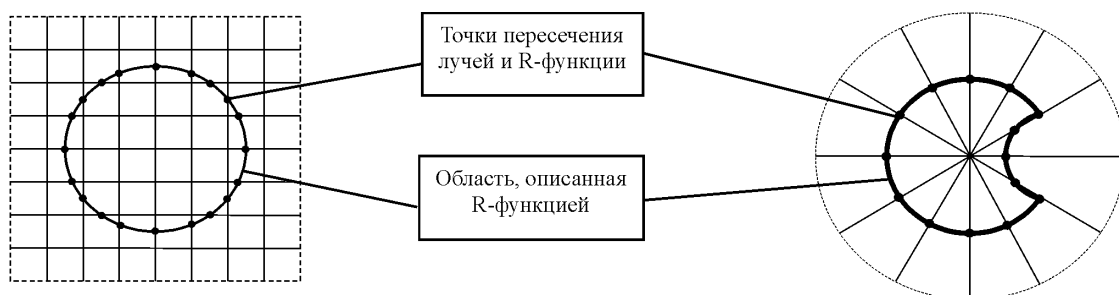


Рисунок 3 – Наложение регулярной сетки и определение множества опорных точек

3) формирование начального множества опорных точек путем наложения на бокс регулярной сетки и определения точек ее пересечения с границей исходной области (рис. 3).

Нахождение точек пересечения регулярной сетки с границей области моделирования является одной из самых трудоемких процедур работы алгоритма. Для любой точки пространства можно однозначно сказать, принадлежит ли она области моделирования или нет. Следовательно, применяя метод половинного деления отрезка с крайними точками, имеющими противоположные по знаку значения R-функции можно с некоторой заданной точностью определить точку, которая является одним из множества решений уравнения  $F(x, y) = 0$ .

На базе полученного набора опорных граничных точек можно построить первоначальную триангуляцию. Триангуляция Делоне для заданного набора точек на плоскости может быть выполнена достаточно большим количеством алгоритмов [7]. Наиболее простым с точки зрения программной реализации является семейство *итеративных алгоритмов*, кроме того, они обладают приемлемой вычислительной трудоемкостью. Работа алгоритма начинается с определения некоторой суперструктуры, которая заведомо содержит множество опорных точек триангуляции и может совпадать с первоначальным боксом. Основная идея алгоритмов данного класса заключается в добавлении вершин (узлов) в уже существующую триангуляцию. После чего осуществляется поиск треугольника, в который попадает данный узел, а также выполняется локальная проверка условия Делоне, часто приводящая к необходимости перестройки триангуляции. В зависимости от выбора способа ускорения поиска нужного треугольника получают различные итеративные алгоритмы.

Важным моментом при построении адекватной модели является точность, с которой будет отображаться граница описанной при помощи R-функции области. Пусть, например, необходимо с некоторой точностью отобразить границу  $\Gamma$  области  $\Omega$  (рис. 4).

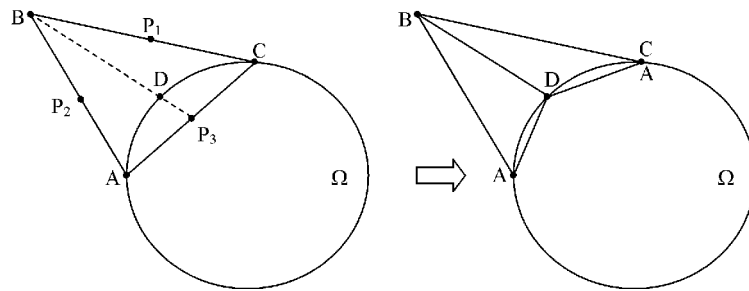


Рисунок 4 – Уточнение границы

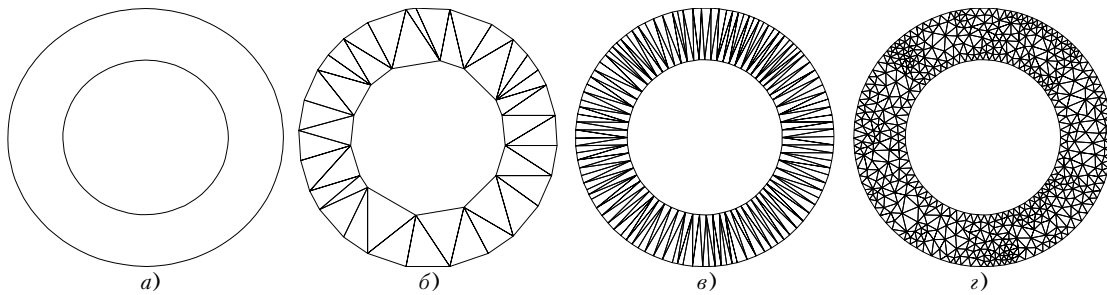


Рисунок 5 – Этапы работы алгоритма:

*a* – исходная область; *б* – опорные точки, полученные путем наложения регулярной сетки; *в* – уточненная граница; *г* – оптимизированная дискретизация

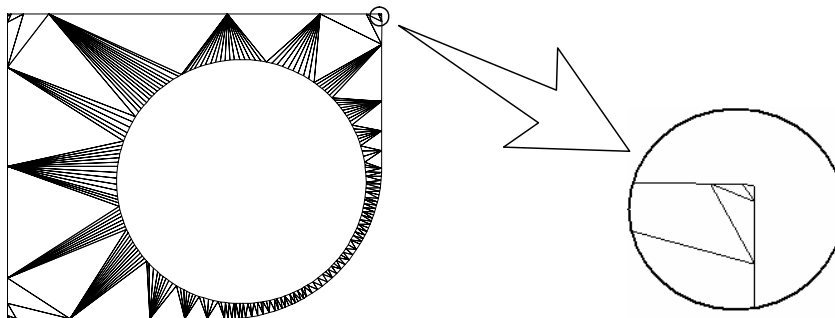


Рисунок 6 – Проблема нахождения и уточнения углов

**Argument**  $x, y$   
**BaseFunction**  $f, g$   
**Function**  $r$

$$f = F(x, y)$$

$$g = G(x, y)$$

$$r = R(f, g)$$

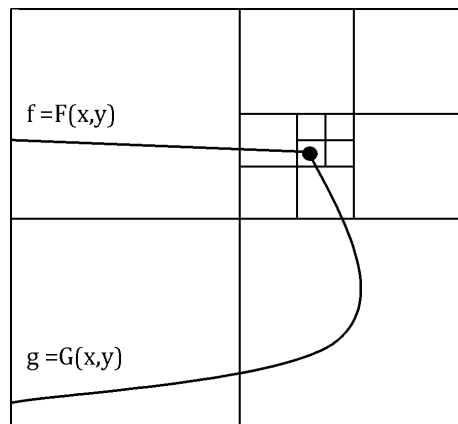


Рисунок 7 – Формальное описание некоторой области на языке FORTU-3 и алгоритм нахождения точек пересечения образующих (опорных) функций

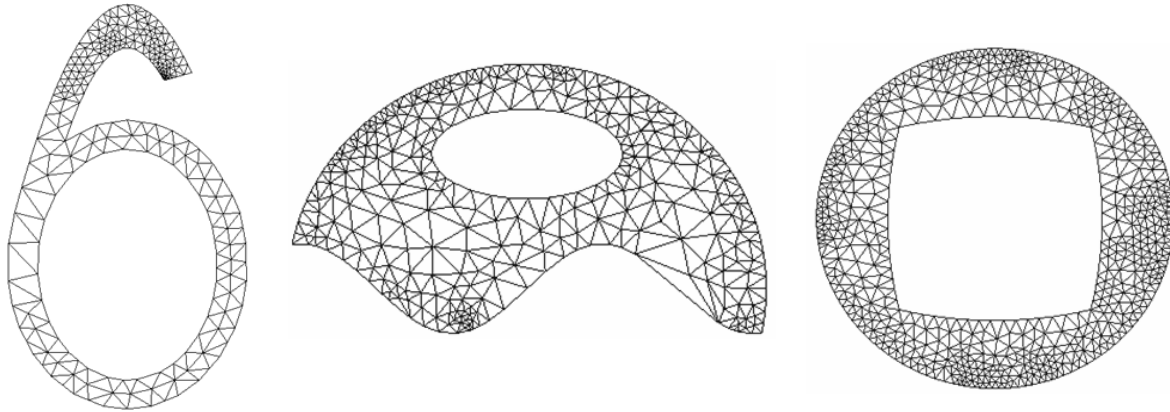


Рисунок 8 – Примеры дискретных моделей, описанных с помощью R-функций

Весь процесс нахождения точек на границе и внутри моделируемой области происходит параллельно с их вставкой в триангуляцию. Если граница  $\Gamma$  области  $\Omega$  является криволинейной, то можно утверждать, что в триангуляции всегда существует треугольник, серединам сторон которого соответствуют значения функции  $F$  разных знаков (например,  $ABC$ ). Обозначим через  $P_1$ ,  $P_2$ , и  $P_3$  – середины его сторон. Функция  $F$  принимает положительное значение в точке  $P_3$  и отрицательное в точках  $P_1$  и  $P_2$ . Отрезок  $AC$  в данном случае является граничным сегментом области  $\Omega$ . Тогда, проведя отрезок от точки  $P_3$  до противоположной ей вершины, можно найти точку его пересечения с границей  $\Gamma$  и, следовательно, заменить граничный сегмент  $AC$  на сегменты  $AD$  и  $CD$ . Аналогичные рассуждения, только с обратными знаками, справедливы для случая с невыпуклой границей. Процесс необходимо повторять до тех пор, пока абсолютное значение функции  $F$  для середин всех граничных сегментов не будет превышать некоторого наперед заданного значения.

Такая методика уточнения границ является эффективной для областей с гладкой границей. На рис. 5 приведены этапы построения дискретной модели геометрической подобной геометрической области. Как видно из рисунка происходит довольно точная аппроксимация криволинейной границы, но при использовании приведенного выше алгоритма уточнения границы существует проблема выявления острых углов, т. е., в общем случае все углы при увеличении масштаба не имеют остроугольной вершины (рис. 6). Эту проблему можно решить, если принять утверждение, что все углы получаются путем пересечения границ образующих функций.

Для нахождения точки пересечения двух образующих функций можно применить рекурсивный алгоритм разбиения области, но не для всей R-функции, а для всего множества возможных пар образующих функций. Для реализации данного подхода в язык

FORTU-3 был введен дополнительный оператор декларации образующих функций – **BaseFunction**. С его помощью при описании области моделирования пользователь может изначально описать все образующие функции, а затем, используя функции, объявленные идентификатором **Function**, определить различные комбинации (объединение, пересечение, вычитание) с образующими функциями для получения требуемого результата. Пример описания некоторой области в общем виде и несколько шагов работы алгоритма поиска точек пересечения образующих функций показаны на рис. 7.

Предложенный алгоритм геометрического моделирования и дискретизации плоских областей с помощью аппарата функций В. Л. Рвачева реализован программно. Некоторые примеры его работы приведены на рис. 8.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный подход к использованию R-функций для геометрического моделирования плоских областей в отличие от других существующих методов и алгоритмов позволяет достаточно легко и эффективно описывать геометрические модели плоских областей произвольной формы с их последующей триангуляцией. Кроме того, итоговая конечно-элементная модель за счет нерегулярной структуры имеет меньшую размерность: сетка автоматически сгущается в окрестностях особенностей (сингулярностей) топологии области, таких, например, как острые углы или отверстия, а в остальных местах содержит меньшее количество элементов, максимальный размер которых задается пользователем.

Развитие предложенного подхода на трехмерный случай позволит существенно повысить качество геометрических моделей реальных инженерных конструкций и сооружений.

### ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. GRUMMP – Generation and Refinement of Unstructured, Mixed-Element Meshes in Parallel [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://tetra.mech.ubc.ca/GRUMMP/>.
2. *Останин А. Н.* Применение математических методов и ЭВМ. Вычислительные методы проектирования оптимальных конструкций: Учеб. пособие для вузов / Под общ. ред. А. Н. Останина. – Мн.: Выш. шк., 1989. – 279 с.
3. *Куприков М. Ю.* Твердотельное моделирование – новый подход к вопросам проектирования и подготовки технической документации [Электронный ресурс] / М. Ю. Куприков. – Режим доступа : <http://nit.miem.edu.ru/cgi-bin/article?id=76>.
4. *Голованов Н. Н.* Геометрическое моделирование / Н. Н. Голованов. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2002. – 472 с.
5. *Рвачев В. А.* Теория R-функций и некоторые ее приложения / В. А. Рвачев. – К. : Наук. думка, 1982. – 552 с.
6. *Толок В. А.* Метод конечных элементов: теория, алгоритмы, реализация / В. А. Толок, В. В. Киричевский, С. И. Гоменюк, С. Н. Гребенюк, Д. П. Бувайло. – К. : Наук. думка, 2003. – 316 с.

7. *Скворцов А. В.* Эффективные алгоритмы построения триангуляции Делоне / А. В. Скворцов, Ю. А. Костюк // Геоинформатика. Теория и практика. – Томск : Изд-во Томского ун-та, 1998. – Вып. 1. – С. 22–47.

Надійшла 4.08.2008

*В статті розглянуто задачу побудови геометричних моделей інженерних конструкцій нестандартної форми. Виконано огляд основних методів представлення геометричних моделей у сучасних САПР. Описано застосування апарату функцій В. Л. Рвачеві для формального опису та наступної дискретизації плоских геометричних об'єктів складної форми.*

*The problem of plotting geometrical models for engineering structures of non-standard form is considered in the paper. The review of the basic methods to describe geometrical models in modern CAD is done. Application of V. I. Rvachev's function apparatus for formal description and subsequent discretization of plane geometrical objects of complex form is discussed.*

УДК 004.4'24

М. Ю. Терновой

## ПІДХІД ДО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ В ТЕРМІНАХ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

*Запропоновано підхід до отримання інформації з бази даних та її представлення в термінах предметної області. До складу цього підходу входять метод прив'язки до предметної області та метод побудови запиту до бази даних в термінах предметної області.*

### ВСТУП

Для ефективного управління будь-якою організаційною структурою керівнику необхідна різноманітна інформація, причому сутність цієї інформації та форма її подання будуть змінюватися в залежності від задачі, що вирішується. Від оперативності отримання та зручності подання необхідної інформації залежить своєчасність управлінських рішень [1]. На сьогоднішній день інформаційні технології складають основу інформаційно-аналітичної діяльності будь-якої організації. В сучасних інформаційних системах (ІС), що функціонують в організаціях, дані зберігаються в базах даних (БД), які найчастіше є реляційними [2]. Тому описана вище задача подання інформації зводиться до отримання даних з бази даних та їх представлення у формі, що вимагається.

Як правило, у впроваджених в організаціях ІС закладена можливість отримання звітів на основі поточних даних, але кількість різних за формою звітів обмежена. Створення нових звітів вимагає вдосконалення або переробки ІС за участі розробників.

З іншого боку на ринку програмного забезпечення існує багато систем, які надають можливість формувати різноманітні звіти, так звані генератори звітів (ГЗ). Генератори звітів існують як у вигляді самостійних програм, так і у вигляді генераторів звітів, що вбудовані в системи керування базами даних (СКБД) або середовища розробки. Серед останніх можна виділити [3–6]: MS SQL Server, MS Access, 1С. Аналогічні інструменти є в Delphi та інших середовищах розробки. Однак, користуватися вбудованими ГЗ можна лише за умови, що і вся система побудована на цій СКБД, або за допомогою цього середовища розробки.

Серед ГЗ, які є самостійними програмами, можна виділити [7–10]: MS SQL Server Reporting Services, Seagate Crystal Reports, VSREPORT, Report Sharp-Shooter та інші.

До загальних недоліків використання існуючих ГЗ можна віднести те, що для їх використання необхідні спеціальні знання в області інформаційних технологій та теорії баз даних. І хоча людина, що приймає рішення, є достатньо високо кваліфікованою в своїй предметній області, в області роботи з базами даних вона може не мати потрібних знань. Необхідність таких знань пов'язана з тим, що для отримання інформації з бази даних необхідно побудувати SQL-запит на вибірку для чого потрібно знати не тільки