

## ПРИМЕНЕНИЕ МАШИНОЙ ГРАФИКИ

УДК 007.001.362

В. Г. СИРОТИН  
(Новосибирск)

### ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АЛББА: ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ, КОНЦЕПЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ

**Введение.** Первые публикации по географическим информационным системам появились в начале семидесятых годов. Спустя 8—10 лет появились обобщающие обзоры ведущихся в этой области работ [1]. 1987—89 гг. охарактеризовались лавинообразным ростом научных публикаций и сообщений о ведущихся в США, Японии и Западной Европе практических разработках географических информационных систем. По-видимому, этому можно дать два взаимодополняющих объяснения. Во-первых, развитие элементной базы и снижение стоимости компонентов ЭВМ позволили заметно расширить сферу рентабельных применений географических информационных систем. Во-вторых, обострение экологических проблем, ужесточение требований к безопасности эксплуатации крупных наземных сооружений и транспортных средств, создание качественно новых видов техники потребовали создания программно-технических комплексов, решающих задачи с использованием географической информации. Сообщая ниже о географических информационных системах, будем иметь в виду оперативные системы, предназначенные для обработки запросов о географических объектах в темпе, близком к реальному времени. Тем самым за чертой нашего рассмотрения остаются пассивные хранилища географических (картографических) данных (см., например, [2]), а также системы по «накачке» подобных хранилищ необходимой информацией (см., например, [3]).

**1. Потенциальные области применения.** В настоящее время в качестве основных потенциальных областей применения оперативных географических информационных систем, а также экспертных систем, построенных на их основе, выступают навигация, экологический и геофизический мониторинг, проектирование крупных наземных сооружений, поиск полезных ископаемых и др. Существенным моментом при решении возникающих в этих областях задач является необходимость быстро получать ответы на запросы о характере исследуемого участка местности, располагающихся на нем естественных и искусственных объектах, зафиксированных либо прогнозируемых явлениях.

Именно для выполнения этих функций предназначена описываемая в настоящей работе географическая информационная система АЛББА.

**1.1. Навигация.** Практическое внедрение средств электронной навигации для водного и наземного транспорта неизбежно требует включения в состав систем навигации блоков, предоставляющих информацию о местности [4]. Автоматическое или автоматизированное судно- и автовождение требует прогнозирования и знания местности, не попадающей в зону не-

посредственной видимости операторов и приборов. Изменчивость окружающей обстановки (встречные движущиеся средства, загоры и ремонт на автодорогах, изменения фарватеров на реках) требует принимать решения в процессе движения, что вызывает обработку больших объемов географической информации, «поставщиком» которой могут быть географические информационные системы либо базы географических фактов экспертных систем.

Весьма ощутимую пользу географические информационные системы могут оказать, предоставляя информацию аэрокосмическим тренажерным системам [5].

Еще одной подобластью применения географических информационных систем являются системы контроля движения автотранспорта и глобального управления транспортными потоками.

**1.2. Экологический и геофизический мониторинг.** В рамках современных концепций экологического и геофизического мониторинга требуется не только контролировать параметры среды в большом количестве точек, но и прогнозировать развитие ситуации с целью принятия оперативных решений. Математические методы такого прогнозирования в настоящее время интенсивно разрабатываются. Их характерными особенностями являются большие размерности векторов состояния среды и требования точного знания геометрии и распределений характеристик земной поверхности и атмосферных образований. Это ставит ряд специальных проблем в области структур используемых данных, которые, по-видимому, неразрешимы в рамках применения структур традиционных алгоритмических языков. Требуются качественно иные подходы, один из которых — использование географической информационной системы.

Усиление практической направленности мониторинговых систем требует создания в их составе блоков анализа взаимного расположения и влияния искусственных атмосферных и иных образований (например, газовых облаков) и наземных сооружений (например, строений и дорог). Такого рода задачи могут решаться путем использования географических информационных систем.

**1.3. Проектирование крупных наземных сооружений.** При проектировании крупных наземных сооружений для отработки каждого варианта проекта требуется обработать очень большое количество данных о местности. Трудоемкость и длительность процесса извлечения необходимых данных вручную с традиционных карт приводят к рассмотрению малого количества вариантов и к проектным ошибкам. И здесь большую помощь могут оказать географические информационные системы либо включающие их экспертные системы. При этом на географические информационные системы может быть возложено решение разнообразных задач вычислительного характера: подсчет объемов вскрышных работ, определение размеров отторгаемых земель, вычисление расстояний до населенных пунктов и дорог и т. д.

**2. Основные принципы создания системы АЛББА.** Разработка системы АЛББА не имеет своей целью сразу же создать систему, способную решать все возникающие «географические» задачи в областях, перечисленных в пп. 1.1—1.3. Речь в данном случае идет, скорее, о создании ядра новых информационных технологий для их решения. Вместе с тем ориентация на столь широкую сферу применения является одним из принципов создания системы, который можно сформулировать как принцип универсальности. Другие важные принципы создания системы АЛББА — автономность и работа в реальном времени.

Принцип автономности, являющийся одним из основных при разработке системы АЛББА, состоит в том, что до начала основной (оперативной) работы необходимые данные считываются из централизованного архива цифровых карт местности и преобразуются в форматы, удобные для оперативной работы. Реализация этого принципа требует наличия в составе системы развитых средств конвертирования, т. е. интерфейсов с архивами данных.

Работа в реальном времени требует не только использования эффективных алгоритмов и структур, но и представления по запросам информации в виде, удобном для восприятия и обработки. В частности, отсюда вытекает требование создания развитых графических интерфейсов при работе с операторами.

**3. Основные требования к системе АЛББА.** Исходная информация для работы оперативной географической информационной системы содержится на цифровых картах местности. Цифровой картой местности называют находящиеся на машинных носителях закодированные в цифровом виде пространственные координаты и характеристики (атрибуты) объектов местности.

По своей структуре и содержанию цифровые карты местности во многом схожи с традиционными картами. Наиболее сложной с точки зрения кодирования информации, а также самой большой по объему является часть цифровой карты местности, которая соответствует географическому содержанию.

Основываясь на материалах работы [3], в которой описывается система подготовки цифровых карт местности, будем считать, что на носителях исходной и вторичной информации, обрабатываемых системой АЛББА, объекты разных типов могут храниться следующим образом.

**А.** Точечные объекты хранятся в виде геометрически неупорядоченного файла с записями постоянной длины. Каждая запись в файле содержит координаты точки и ее атрибуты.

**Б.** Линейные объекты хранятся в виде списка независимых линейных сегментов (кривых). Каждый сегмент, в свою очередь, представляет собой ломаную из отрезков прямых линий либо последовательность цепных кодов.

**В.** Площадные объекты могут быть заданы либо в виде многосвязных плоских фигур, задаваемых своей границей — линейным объектом, либо в виде раstra точек. При этом в ряде случаев растр может явно не задаваться, а генерироваться в виде хаотической последовательности троек  $(i, j, k)$ , где  $(i, j)$  — координаты точки;  $k$  — номер площадного объекта, которому она принадлежит.

**Г.** Однозначные функции двух переменных (рельеф) могут быть заданы на цифровых картах местности четырьмя способами: 1) матрицей высот, 2) неупорядоченным набором отметок высот, 3) триангуляционной неоднородной сеткой высот, 4) совокупностью линий одинакового уровня.

Во втором и третьем случаях исходная информация представляет собой точечный объект, а в четвертом — линейный.

Основываясь на данных работ [6—8 и др.], можно сделать предположение, что при работе географической информационной системы АЛББА в оперативном режиме наиболее употребляемыми будут следующие запросы:

1. Проведение теоретико-множественных операций (объединения, пересечения и разности). Важной разновидностью таких операций является селекция (отбор) объектов, попадающих в исследуемую область (накрываемых данным площадным объектом). В результате выполнения этих операций генерируются новые объекты.

2. Поиск объекта из заданного класса, ближайшего к данной точке (объекту), с возможностью вычисления расстояния между ними и ограничениями на область поиска.

3. Вычисление метрических и топологических характеристик заданного объекта (площадь, периметр, число компонентов связности и т. д.).

4. Нахождение значения функции  $f(x, y)$  в данной точке и нормали к поверхности (рельефу), определяемой этой функцией.

5. Нахождение на множестве пересекающихся линейных объектов (планарном графе) всех вершин, доступных из некоторой точки, принадлежащей одному из линейных объектов.

6. Генерализация (отбрасывание мелких объектов, сглаживание линейных объектов и границ площадных объектов).

В предметных географических терминах эти запросы могут быть проинтерпретированы самым различным образом. Так, например, с помощью запроса первого типа можно найти часть шоссе, расположенную внутри лесомассива, а с помощью запроса второго типа — определить участки местности и грунты на них, примыкающие к населенному пункту.

4. Концептуальная модель географической информационной системы. Системно анализируя работу географов, Барри в 1961 г. охарактеризовал ее как оперирование «географической матрицей» (см. [9]). Для наглядности эту матрицу можно представить как трехмерную. Два ее измерения отвечают плоской системе географических координат, а третье — списку характеристик. Каждый элемент матрицы представляет собой «географический факт». Для динамически изменяющихся обстановок на местности число измерений рассматриваемой матрицы должно быть увеличено за счет введения еще одной оси, соответствующей времени. Развивая эту идею, ряд авторов [8—10] начали разрабатывать концепцию «Интерактивной карты» как части экспертной системы, которая «знает все» об обстановке на местности и может давать необходимые ответы в требуемой форме.

Наиболее наглядно представлять себе «географическую матрицу» можно как набор тематических карт, базирующихся на единой топооснове исследуемого участка местности. В рассматриваемом контексте несколько сузим традиционное для картографии понятие тематической карты, располагая на каждом «слое» «географической матрицы», получаемом за счет фиксации значения по оси характеристик, элементарную тематическую карту, т. е. карту с элементами только одного географического и геометрического типа.

Наряду с рассмотренными типами данных, на цифровых картах могут также присутствовать данные, относящиеся к группам объектов одновременно. В частности, это могут быть данные о всей карте в целом либо сведения о связях объектов между собой. Такого рода данные целесообразно представлять в виде отношений реляционного типа. Это потребует наряду с осью «географических» характеристик (перечнем тематических карт) ввести еще одну «параллельную» ей ось с перечнем реляционных отношений.

«Географическую матрицу» с дополнительной осью реляционных характеристик будем рассматривать в качестве основной конструкции концептуальной модели географической информационной системы АЛББА.

5. Квадродерева как информационная модель для представления картографических данных. В системе АЛББА в качестве базового представления для хранения и обработки элементарных тематических карт выбраны квадродерева. Этот выбор определен следующими соображениями: 1) единообразие представления всех типов данных и выполнения практически всех необходимых операций; 2) возможность единообразно и одновременно для всех типов управлять точностью (детальностью) представления; 3) относительно высокая скорость операций, которые, как представляется, будут наиболее часто выполняться при работе системы АЛББА.

Генерация и обработка квадродеревьев в системе производятся с помощью встроенной библиотеки программ, реализованных на языках Фортран и Си.

Все программы библиотеки можно условно разбить на семь основных модулей: 1) модуль обработки точечных объектов, 2) модуль обработки линейных объектов, 3) модуль обработки площадных объектов, 4) модуль обработки однозначных функций двух переменных (рельефов), 5) модуль общих функций, 6) файловая подсистема, 7) модуль визуализации.

Исходя из перечня операций, реализуемых программами библиотеки, целесообразно использовать для хранения квадродеревьев подход, полу-

чивший в настоящее время наименование «Метод линейного квадродерева». Основная идея этого подхода состоит в том, чтобы не хранить о квадродереве никакой другой информации, кроме пар

(квадрокод, значение квадроблока),

идентифицирующих терминальные узлы. При этом в случае двухградационных изображений значение квадроблока отсутствует. Список записей с квадрокодами квадроблоков и их значениями упорядочивают по величине квадрокода. С целью упрощения реализации под квадрокод отводится поле фиксированной длины, в которое можно записать столько символов, какова глубина квадродерева.

В связи с этим возникает естественный вопрос: каким образом скрывается отсутствие в структуре указателей на узлы и информации о белых и серых узлах квадродерева на эффективности обработки квадродерева? Как это ни парадоксально на первый взгляд, для большинства операций, перечисленных в п. 3, удалось подобрать такие алгоритмы, эффективность которых от исключения указателей и нетерминальных узлов не снижается. Это объясняется тем, что данные алгоритмы используют тот же способ обхода квадродерева, который неизбежно возникает в результате упорядочения дерева по значению квадрокода: «вначале от корня к листьям, затем слева направо».

**6. Графический интерфейс.** Обеспечение «дружественного» интерфейса операторов с системой АЛББА предполагает создание эффективных средств ввода необходимой информации и вывода данных в виде, удобном для восприятия человеком. В связи с этим актуальными задачами для географической информационной системы АЛББА являются изображения рельефа местности и наборов тематических карт.

**6.1. Изображение рельефов местности.** При изображении рельефа местности имитируется процесс восприятия данной местности человеческим глазом через прозрачное окно в непрозрачной стене. Роль окна в данном случае выполняет экран дисплея.

В зависимости от требуемого качества изображения в системе АЛББА применяются два базовых подхода к визуализации рельефа местности: метод трассировки лучами и метод однородной заливки участков экрана.

При визуализации рельефа методом заливки вводится следующее предположение. Весь участок местности  $Q$  разбивается на  $K \times L$  достаточно малых, одинакового размера прямоугольников. Каждый прямоугольник характеризует кортеж

$$A_{i,j} = \{H_{i,j}, P_{i,j}, l_{i,j}\},$$

где  $H_{i,j} = (h_{i,j}, h_{i+1,j}, h_{i,j+1}, h_{i+1,j+1})$  — высоты в углах прямоугольника;  $P_{i,j}$  — указатель на тематическую карту, по которой определяется «истинный» цвет прямоугольника (например, на карту водоемов, если данный прямоугольник попадает на поверхность водоема);  $l_{i,j}$  — указатель тематической карты, по которой следует определять линейные объекты, проходящие через соответствующий участок местности.

Алгоритм визуализации, базирующийся на методе заливки, работает следующим образом.

На вход алгоритма последовательно подаются аппроксимирующие  $Q$  прямоугольники в порядке «от тыла к фронту», т. е. с таким расчетом, чтобы изображения сегментов, обрабатываемых позже, автоматически замещали на экране невидимые из точки наблюдения части ранее обработанных сегментов [41]. Каждый сегмент поверхности приближается двумя смежными треугольниками. Через нормаль к треугольнику определяется, наружной или внутренней стороной он располагается к наблюдателю (видим или невидим), и во втором случае в дальнейшем не рассматривается. После этого каждой вершине приписывается цвет, которым должна быть окрашена проекция данной точки на экран. Эта операция выполняется с помощью таблицы ослабления цветов. Таблица ослабле-

ния цветов имеет  $N_0$  строк и  $K_0$  столбцов, где  $N_0$  — число различных «истинных» цветов поверхности и объектов;  $K_0$  — число градаций ослабления. В каждом элементе таблицы содержится значение интенсивностей красного, зеленого и синего цветов, смешение которых дает цвет, соответствующий цвету элемента таблицы. Цвета в таблице ослабления цветов подбираются таким образом, чтобы обеспечить плавный переход от соответствующего данной строке таблицы «истинного» цвета к «цвету горизонта». Выбор столбца в таблице зависит от нормали к поверхности и ее удаленности от наблюдателя. В случае, если размер проекции грани на экран меньше некоторой величины, называемой порогом дробления, грань изображается. Если грань расположена достаточно близко к наблюдателю, ее проекция будет выделяться на экране своими размерами и «плоскостностью». Чтобы избежать этого эффекта, производится рекурсивное разбиение грани на четыре более мелких треугольника по методу, описанному в [12]. Затем каждый из получившихся треугольников вновь поступает на вход блока обработки треугольных граней. После того как проекция треугольной грани закрашена, изображаются соответствующие ей линейные объекты.

Метод трассировки лучами широко известен в машинной графике. В рамках этого подхода площадные, линейные и точечные объекты с той или иной тематической карты следующим образом могут влиять на изображения рельефа: выступать в качестве ограничения на  $Q$  либо в качестве аргументов функционалов, вычисляющих «истинный» цвет, нормаль к поверхности и т. д.; кроме того, площадные объекты могут быть изображены приподнятыми над окружающим рельефом.

Перечисленные способы позволяют получать очень информативные изображения рельефа местности с размещенными на нем искусственными и естественными объектами с акцентированием внимания оператора на той или иной группе объектов.

6.2. *Изображение тематических карт.* Пусть имеется  $M$  тематических карт, каждая из которых формально представляется двумя отображениями:

$$F_1: (x, y) \Rightarrow (r, g, b),$$

где  $(x, y) \in Q$ , а тройка  $(r, g, b)$  определяет истинный цвет поверхности в данной точке:

$$F_2: (x, y) \Rightarrow a,$$

где  $a$  — коэффициент разбавления передаваемого света на единицу длины распространения.

Тематические карты изображаются в виде лежащих друг на друге полупрозрачных цветных «пластин». Точки в глубине пластины характеризуются теми же значениями  $a$ , что и точка на ее поверхности. Свет в пластинах считается идущим снизу вверх. Внутри пластины он распространяется строго перпендикулярно поверхности. При этом свет, прошедший от предыдущего слоя, пройдя пластину, ослабляется в  $a \times d$  раз, где  $d$  — толщина пластины, и на поверхности смешивается со светом цвета  $(r, g, d)$ , испускаемым точками поверхности пластины. Тем самым каждая точка самой верхней пластины (тематической карты) будет испускать в окружающее пространство некоторый световой поток. Задача изображения состоит в определении света, попадающего в каждый пиксел от излучающей поверхности.

Меняя пластины — тематические карты — местами, а также изменяя их толщину, можно акцентировать внимание оператора на тех или иных тематических картах и их комбинациях.

7. *Теоретические вопросы разработки.* Разработка теории оценивания точности представлений и проведения измерений в географических информационных системах. Цифровые карты местности, хранящиеся в централизованных базах картографических данных, являются моделями реальных географических объектов и искусственных сооружений. Такие модели получают в результате выполнения некоторых сложных чело-

векомашинных процедур. Эти процедуры характеризуются определенной стандартизованной точностью, являющейся одним из атрибутов модели. Цифровые карты содержат исходные данные для географической информационной системы. Как указывается в п. 3, до начала основной работы данные, содержащиеся на цифровых картах, должны быть конвертированы (отображены) в форматы, эффективные для дальнейшей обработки (в форматы квадродерева). Это отображение также должно характеризоваться своей точностью. Разработка методов оценивания точности получающихся представлений — первая (математическая) задача теории оценивания точности представлений.

Эта задача в дальнейшем обобщается следующим образом. Как известно, самыми ценными продуктами любой формы обработки данных, в частности с помощью географической информационной системы, являются измерения, например площади участка с определенными характеристиками, длины линии или расстояния между определенными точками. Точность измерений по отношению к реальным величинам зависит как от точности получения цифровых карт местности, так и от особенностей отображения информации с цифровых карт в структуры типа квадродеревьев. Разработка методов оценивания точности измерений — вторая из числа возникающих в данной области задач. Важно также разработать методы оценивания стоимости достижения той или иной точности измерений в терминах ресурсов компьютера.

Особое внимание должно быть уделено гарантии топологического соответствия реальных объектов и их квадроделей, например предотвращению увеличения или уменьшения числа компонентов связности образа по сравнению с реальным объектом, появления фиктивных образов. Исследование этого вопроса и доказательство необходимых утверждений в данной области также относятся к фундаментальным задачам теории оценивания точности представлений и проведения измерений в географических информационных системах.

Целая группа задач касается разработки представлений для хранения моделей в памяти ЭВМ, обеспечения эффективного доступа к данным, разработки новых алгоритмов обработки квадродеревьев.

В настоящее время закончена реализация первой версии системы АЛББА на языках Фортран и Си для ЭВМ типа IBM PC/AT.

Автор глубоко признателен А. М. Мацокину, посоветовавшему начать работу в данной области и проявляющему к ней постоянное внимание, Ю. Г. Земскову, В. П. Школдину, В. А. Дебелову, С. А. Упольникову, В. П. Карачевскому, А. А. Ветошкину, Н. Н. Нуриеву за полезные обсуждения данной работы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nagy G., Wagle S. G. Geographic data processing // *Communs ACM*.— 1979.— 22, N 9.
2. Crain I. K., MacDonald C. L. Challenges in the application of graphics technology to the management of geographic information // *Computer Generated Images, The State of the Art: Proc. Graph. Interface'85*.— Tokyo e. a.: Springer, 1985.— P. 242.
3. Алексеев А. С., Васильков С. Т., Калантаев П. А. и др. Система диалоговой обработки цифровой информации о местности.— Новосибирск, 1988.— (Препр./СО АН СССР, ВЦ; 795).
4. Lapolnee G., Cormier M. Design and implementation of an interactive routine editor // *Computer-Generated Images, The State of the Art: Proc. of Graph. Interface 85*.— Tokyo e. a.: Springer, 1985.— P. 419.
5. Nichol D. G., Fiebig M. J., Whatmough R. J., Whitebread P. J. Some image processing aspects of military geographic information system // *Austral. Comput. J.*— 1987.— 19, N 3.— P. 154.
6. Pequet D. J. A hybrid structure for the storage and manipulation of very large spatial data sets // *Comput. Vision Graph. and Image Process.*— 1983.— 24, N 1.— P. 14.
7. Vitek R. L. Data base requirements for geographical mapping // *Data Base Techniques for Pictorial Applications/Ed. by A. Blaser*.— Berlin: Springer, 1980.— P. 1—25.— (Lect. Notes in Comput. Sci.; V. 81).
8. Banuon R. T. Develop a cartographic geocode system (CAGES) // *Computer Graphics*:

- Visual Technology and Art: Proc. Comput. Graph. Tokyo'85.— Tokyo e. a.: Springer, 1985.— P. 107.
9. Barr R. Automated cartography and geographical information: Part 2 // Advances in Computer Graphics 11.— Berlin e. a.: Springer, 1986.— P. 29.
10. Couesnon T., Laurent D., Motel S. The geograph simulation system: towards dynamic use of a geomatic data base // Advanced Computer Graphics.— Tokyo: Springer, 1986.— P. 244.
11. Cougullart S., Gangnet M. Shaded display of digital maps // IEEE Comput. Graph. and Appl.— 1984.— 4, N 7.— P. 37.
12. Miller G. S. P. The definition and rendering of terrain maps // Comput. Graph.— 1986.— 20, N 4.— P. 39.

Поступила в редакцию 17 января 1990 г.

УДК 621.438-226.2.001.2 : 621.3

О. Ю. АНЧУГОВА, А. В. БЕЗЕЛЬ, Н. У. ТУГУШЕВ  
(Свердловск)

### ПОДСИСТЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РЕШЕТОК ПРОФИЛЕЙ В САПР ТУРБИНЫХ ЛОПАТОК В ДИАЛОГОВОМ РЕЖИМЕ

Конструктору, проектирующему изделие на ЭВМ в интерактивном режиме, очень важно иметь оперативную информацию о проекте в наглядной и удобной для восприятия форме.

В системе конструирования турбинных лопаток центральное место занимает проектирование пера (рис. 1), которое сводится к построению нескольких базовых сечений (профилей) (рис. 2). Поскольку проточная часть в турбине определяется лопаточным венцом, то необходимо проектировать решетку профилей (рис. 3).

Диалоговый режим, в котором проектируются решетки, выдвигает жесткие требования по быстродействию и точности расчетов к программам, оценивающим состояние проекта. Указанным требованиям полностью отвечает предлагаемая вниманию подсистема расчета геометрических и аэродинамических характеристик решеток профилей с визуализацией результатов на экране дисплея и на графопроекторных больших и персональных ЭВМ (рис. 4).

Исходные данные включают геометрию решетки и аэродинамические параметры потока — угол входа, приведенную скорость на выходе из решетки, температуру, давление торможения и начальную турбулентность движущейся в решетке среды.

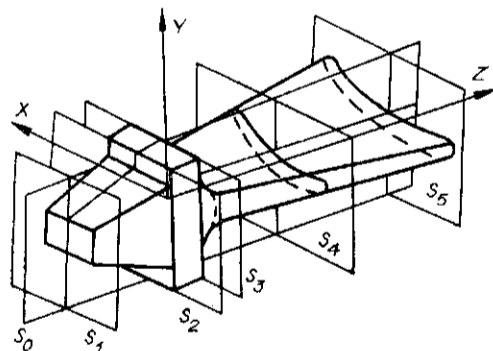


Рис. 1. Кодирование турбинной лопатки:  $S_0$  — плоскость продольного сечения,  $S_1 - S_5$  — плоскости поперечного сечения

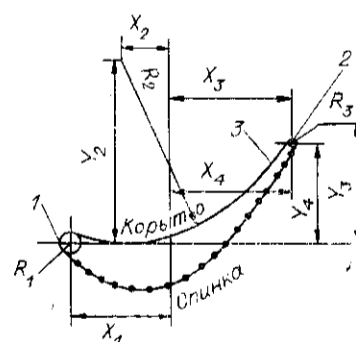


Рис. 2. Кодирование профиля турбинной лопатки: 1 — входная кромка, 2 — выходная кромка, 3 — прямой участок