

Постоянные параметры объекта управления имеют значения:  $J = 0,5 \text{ кгм}^2$ ,  $\chi = 1 \cdot 10^4 \text{ нс}$ ,  $c = 2 \cdot 10^4 \text{ н}$ ,  $r = 0,1 \text{ м}$ . Его интервальные параметры заданы диапазонами:  $m \in [50, 500] \text{ кг}$ ,  $l \in [50, 100] \text{ м}$ ,  $k_1 \in [5, 10]$ . Настройки регулятора  $k_2 = 1$ ,  $T = 0,01 \text{ с}$  определены для средних (номинальных) значений интервальных параметров.

Приведем характеристический полином системы к виду (1):

$$l \cdot A_1(s) + \frac{1}{m} \cdot A_2(s) + k_1 \cdot A_3(s) + A_4(s) = 0,$$

где  $A_1(s) = Js^3$ ;  $A_2(s) = J(c + \chi s)s$ ;

$A_3(s) = ck_2r^2 + (ck_2Tr^2 + \chi k_2r^2)s + \chi Tk_2r^2s^2$ ;

$A_4(s) = (c + \chi s)r^2s$ .

При трех интервальных параметрах  $P_3$  содержит 8 вершин:  $V_1(50, 50, 5)$ ,  $V_2(500, 50, 5)$ ,  $V_3(500, 50, 10)$ ,  $V_4(50, 50, 10)$ ,  $V_5(50, 100, 5)$ ,  $V_6(500, 100, 5)$ ,  $V_7(500, 100, 10)$ ,  $V_8(50, 100, 10)$ , где первая координата -  $m$ , вторая -  $l$ , третья -  $k_1$ . В результате решения

для первой вершины систем (11) установлено, что области локализации корней не содержат особых корневых узлов.

Для трех функций вида (6) в первой вершине определены постоянные полюсы  $(3, 34 + j3, 88, -3, 34 - j3, 88, -1, 53)$ , а также три набора нулей (три нулевых корня  $A_1(s)$ ; корни  $A_2(s)$ : 0 и -2; корни  $A_3(s)$ : -2 и -100). Для корневого узла  $3, 34 + j3, 88$  найдены  $\Theta_m^1 = 34^\circ$ ,  $\Theta_l^1 = 5^\circ$ ,  $\Theta_{k_1}^1 = 86^\circ$ . При таких углах условие (12) выполняется и, следовательно,  $V_1$  принадлежит реберному маршруту. Так как,  $\Theta_l^1 < \Theta_m^1 < \Theta_{k_1}^1$ , то имеем последовательность изменения параметров системы из вершины  $V_1$ :  $l \rightarrow m \rightarrow k_1 \rightarrow l \rightarrow m \rightarrow k_1 \rightarrow l$ . Такая очередность соответствует граничному реберному маршруту:  $V_1 \rightarrow V_5 \rightarrow V_6 \rightarrow V_7 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_1$ . Отображение маршрута на верхнюю полуплоскость корней представлено на рисунке, где построены и все остальные несущественные реберные ветви  $P_3$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев Ю.М., Ефанов В.Н., Крымский В.Г., Рутковский В.Ю. Анализ и синтез линейных интервальных динамических систем (состояние проблемы). Анализ с использованием интервальных характеристических полиномов // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. - 1991. - № 1. - С. 3-23.
2. Bartlett A.C., Holot C.V., Lin H. Root location of an entire polytope polynomials: it suffices to check the edges // Proc. Amer. Contr. Conf. - Minneapolis: MN, 1987.
3. Удерман Э.Г. Метод корневого годографа в теории автоматического управления. - М.: Наука, 1972. - 448 с.
4. Римский Г.В. Основы общей теории корневых траекторий систем автоматического управления. - Минск: Наука и техника, 1972. - 328 с.

УДК 004.38

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ (КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАДАЧ)

В.Э. Дрейзин

*Показана недостаточная интеллектуальность существующих инструментальных средств геоинформационных технологий для анализа и поддержки принятия решений в геоинформационных системах (ГИС), используемых для управления распределенными объектами и территориями. Проведена типизация задач, решаемых подобными системами, и рассмотрены возможные методы их решения, часть из которых представляются автору оригинальными.*

Современные геоинформационные системы (ГИС) представляют собой новый тип интегрированных информационных систем, которые оперируют координатно-привязанной информацией и, в силу этого, обладают определенной спецификой в организации и обработке данных, но включают методы обработки данных многих ранее существовавших автоматизированных систем.

Хотя разработка ГИС началась более 30 лет назад как чисто географических информационных систем, но качественно новое содержание они получили лишь за последние 8...10 лет. Это связано с тем, что они перестают быть чисто географическими. Общая тенденция их развития состоит в том,

что географическая информация служит лишь основой для решения большого числа прикладных задач, связанных с управлением территориально распределенными объектами, землепользованием, навигацией, сельскохозяйственным производством, экологическим мониторингом территорий, прокладкой (трассировкой) разнообразных магистралей и т.п. При этом собственно картографическая информация в данных ГИС является вспомогательной и служит лишь для координатной привязки тех дополнительных данных об объекте управления, отображение и анализ которых являются главными функциями данных ГИС.

Но чем шире становится область применений ГИС, тем явственней ощущается "однобокость" существующих программных инструментальных средств ГИС. Хотя в настоящее время на рынке имеется внушительное число программных пакетов ГИС, но практически все они являются симбиозом чисто картографических систем с графическими средствами и методами моделирования САПР. Из отечественных ГИС можно назвать систему пакетов GeoDraw, GeoGraph, дополняемую системой Геоинструктор. Из зарубежных систем наиболее известными являются ArcCAD, ArcView, AtlasGIS, WinGIS, SICAD/open, MapInfo, ArcInfo и др. [1]. Имея достаточно развитые средства унификации, преобразования и хранения входной информации, графического моделирования и визуализации, все они характеризуются явно недостаточными средствами анализа имеющейся информации и поддержки принятия решений. Таким образом, для эффективного использования ГИС-технологий в перечисленных выше новых практических приложениях интеллектуальность современных ГИС явно недостаточна. Фактически они способны лишь в удобной и наглядной форме отображать заложенную в них координатно-привязанную информацию и выполнять расчеты некоторых количественных характеристик отображаемых объектов, чего явно недостаточно для поддержки принятия управленческих решений. Поэтому целью данной статьи является типизация новых задач ГИС-технологий и обсуждение возможных методов их решения, связанных с их применением в информационно-управляющих системах и направленных на дальнейшее развитие аналитических возможностей ГИС и методов поддержки принятия решений.

В соответствии с разнообразием конкретного назначения геоинформационных управляющих систем разнообразны и решаемые ими задачи. Поэтому провести их классификацию на содержательном уровне вряд ли возможно. Однако, абстрагируясь от конкретного содержания задач в данных предметных областях, можно попытаться классифицировать решаемые задачи, используя некоторые формальные признаки, связанные с целями и процедурами обработки исходной информации в ходе их решения. Такая классификация может существенно помочь в выборе методов анализа, наиболее адекватных решаемой задаче, и инструментальных средств поддержки решения. Для этого достаточно идентифицировать реальную задачу в конкретной предметной области с одним из типов по предлагаемой классификации, а далее выбрать из рекомендуемых для данного типа задач методы и инструментальные средства ее решения и формализовать задачу с учетом выбранных методов и инструментальных средств. Естественно, что предлагаемая классификация не претендует на полноту и, по-видимому, субъективна, поскольку отражает личные представления автора о данной проблеме.

**1. Построение геоинформационных полей.** Эти задачи можно отнести к классическим задачам кар-

тографии, если информационным признаком является рельеф местности. Традиционный метод их решения состоит в построении изолиний, соответствующих некоторым фиксированным значениям данного информационного признака. Примером может служить отображение высоты местности на географических картах. Для наглядности отображения зоны между соседними изолиниями выделяются цветом. (Так на физических географических картах низменности отображаются различными оттенками зеленого цвета, а возвышенности - коричневого). Если отображаемый признак является не количественным, а дуальным ("есть - нет"), то ситуация только упрощается - имеется лишь одна изолиния, соответствующая границе (контуру) распределения данного признака.

Данные задачи являются традиционными для ГИС и поддерживаются многими инструментальными средствами ГИС.

**2. Определение геометрических центров выделенных зон.** Эти задачи могут относиться как к зонам (полям) распределения качественных (дуальных) информационных признаков, так и количественных. В первом случае задача сводится к известной геометрической задаче нахождения "центра тяжести" плоских фигур. Во втором случае ее также можно интерпретировать как геометрическую задачу. Для этого геоинформационное поле распределения данного количественного признака следует представить в виде объемной трехмерной фигуры с плоским основанием, где текущее значение данного признака  $z$ , зависящее от географических координат  $(x, y)$ , представляет высоту этой фигуры в данной точке. Тогда задачу нахождения геометрического центра поля количественного признака можно интерпретировать как геометрическую задачу нахождения проекции центра тяжести данной объемной фигуры на плоскость основания. Поскольку такая объемная фигура имеет в общем случае неправильную форму, то проще всего решать эту задачу численными методами с использованием известных в теоретической механике методов равновесия сил и их моментов.

**3. Определение областей пересечения полей распределения информационных признаков.** Для дуальных признаков эта задача решается простым наложением полей распределения различных признаков друг на друга. Вычисление площади получившейся области пересечения особой сложности не представляет.

Сложнее обстоит дело с полями распределения количественных признаков. В этом случае необходимо по этим признакам ввести сопоставимые безразмерные шкалы (проще всего - в виде относительных значений по отношению к максимально возможному значению данного признака). Тогда можно, как и в предыдущем случае, интерпретировать поля распределения этих признаков в виде неправильных объемных фигур с плоским основанием и характеризовать зону пересечения этих фигур ее объемом и площадями зоны пересечения

по каждой изолинии. Главной проблемой здесь является введение единых безразмерных шкал для всех сопоставляемых информационных признаков, поскольку определение таких шкал в той или иной мере субъективно (например, какое значение информационного признака принимать в качестве максимально возможного - то максимальное значение, которое представлено в имеющейся выборке данных, или физически предельно возможное значение, а в последнем случае, как его определять?).

4. *Определение тесноты взаимосвязей между различными информационными признаками с учетом их полей распределения* (для статических задач). На наличие таких взаимосвязей должно указывать существование обширных зон пересечения анализируемых признаков. Для качественных (дуальных) признаков степень тесноты взаимосвязи любой пары признаков можно характеризовать отношением удвоенной площади зоны пересечения к сумме площадей зон распределения каждого признака. Для количественных признаков аналогичной характеристикой будет отношение удвоенного объема трехмерной области пересечения данной пары признаков к суммарному объему трехмерных фигур, отображающих поля распределения каждого признака. В обоих случаях при полном совмещении полей этих признаков степень взаимосвязи будет характеризоваться единицей, при полном отсутствии зоны пересечения - нулем. Таким образом, данную характеристику можно считать аналогом коэффициента корреляции применительно к координатно-привязанным информационным признакам. В дальнейшем будем называть ее *"коэффициентом пересечения"* данных координатно-привязанных информационных признаков и обозначать  $k_{\Pi}$ .

В многофакторных задачах теснота связей между любой парой информационных признаков определяется совершенно так же, как для двухфакторных задач. При этом в отличие от обычных многомерных задач корреляционного анализа, наличие других факторов не "размывает" связи между любой парой факторов, т.е. наличие или отсутствие других пересекающихся с данной парой информационных признаков не изменяет коэффициент пересечения данной пары признаков. Это объясняется тем, что в геоинформационных задачах учитывается дополнительная информация - координатная, которая и позволяет разделять влияния различных информационных признаков. Это является очень важным свойством координатно-привязанных случайных величин.

Кроме парных коэффициентов пересечения аналогичным образом можно определять совокупные коэффициенты пересечения любого подмножества геоинформационных признаков или всего заданного множества:

$$K_{\Pi} = \frac{nV_{\Pi}}{\sum_{i=1}^n V_i}, \quad (1)$$

где:  $K_{\Pi}$  - совокупный коэффициент пересечения;  $V_{\Pi}$  - объем совокупной области пересечения;  $n$  - число пересекающихся информационных признаков.

Следует отметить два важных обстоятельства. Во-первых, данный анализ (как и корреляционный анализ) позволяет установить лишь тесноту взаимосвязей между информационными признаками, но не причинно-следственные связи между ними. Последние можно выяснить лишь путем анализа физического механизма взаимодействия между ними. Во-вторых, этот анализ пригоден лишь для статических задач. Правда существует целый класс динамических задач, которые можно привести к условно-статическим, введя временное запаздывание ("лаг") между факторными и результирующими признаками.

5. *Динамические задачи исследования поведения и взаимодействия геоинформационных полей*. В динамических задачах следует учитывать еще одну координату геоинформационных случайных величин - временную, т.е. в этих задачах информационные признаки привязаны не только к пространственным координатам, но и ко времени. При этом в каждой точке геоинформационного поля информационный признак может меняться во времени по своему, т.е. мы имеем дело с *временными процессами* изменения геоинформационных полей и их взаимодействий. Изменения во времени информационного признака для каждой отдельной координатной точки при дискретном времени будут представлять собой обычный временной ряд, для которого наиболее употребительной динамической характеристикой является автокорреляционная функция. Меняющееся во времени геоинформационное поле можно представить как ансамбль таких временных рядов, протекающих синхронно, где каждому фиксированному моменту времени соответствует один "кадр" такого ансамбля, представленный мгновенными значениями информационной величины для всех координатных точек пространства, занимаемого данным полем. Тогда все динамическое поле может быть представлено последовательностью таких кадров за все время наблюдения  $T$ . В этом случае для характеристики динамических свойств такого поля по аналогии с функцией автокорреляции можно ввести *"функцию автопересечений"*, определяемую как усредненное за время наблюдения  $T$  значение коэффициента пересечения информационного поля в  $i$ -й момент времени с тем же информационным полем для момента времени  $(i+\tau)$ :

$$R_{II}(\tau) = \frac{1}{T} \times \int_0^T K_{II}[X(t_i)X(t_i + \tau)] dt, \quad (2)$$

где:  $X(t_i)$  и  $X(t_{i+\tau})$  - информационное поле признака  $X$  для моментов времени соответственно  $t_i$  и  $(t_{i+\tau})$ .

Для расчета этой функции в системах с дискретным временем с интервалом дискретизации  $\Delta t$  необходимо, задавшись сначала минимальным значением  $\tau_1 = \Delta t$  вычислить усредненный за весь интервал наблюдения  $T$  коэффициент пересечения соседних по времени "кадров" данного поля. Затем аналогично находится усредненный коэффициент пересечения для кадров, отстоящих друг от друга на интервал  $\tau_2 = 2\Delta t$  и т.д. В итоге мы и получаем функцию  $R_{II}(\tau)$ . По сути дела эта функция характеризует изменчивость конфигурации геоинформационного поля во времени. А величина  $\tau_{\max}$ , при которой  $R_{II} \rightarrow 0$ , определяет тот интервал времени, на которой распространяются статистические зависимости между временными кадрами данного процесса.

Аналогично можно вычислять "функцию кросспересечений" двух геоинформационных процессов, которые будут показывать тесноту взаимосвязи одного процесса с другим. При этом можно вводить произвольно задаваемую задержку одного процесса по отношению к другому, что позволит учитывать инерционность воздействия одного процесса на другой.

Кроме того, используя представление геоинформационного поля в виде ансамбля координатно-привязанных временных рядов, можно применять традиционные для анализа временных рядов методы выделения составляющих общего динамического процесса: *тренда, колебаний относительно тренда, сезонных изменений и остаточной случайной составляющей*. Ничто не мешает дополнить этот анализ, проводимый во временной области, анализом отдельных параметров этого поля в частотной области. Для этого могут быть использованы как некоторые интегральные параметры поля (например, скользящее среднее значение для каждого временного кадра, площадь, занимаемая полем, или объем отображающей его трехмерной фигуры), так и значения поля в фиксированных координатных точках, которые представляют собой обычные временные ряды и к ним в полной мере можно применять методы спектрального анализа.

6. *Задачи классификации геоинформационных полей.* Классифицировать, т.е. относить представленное геоинформационное поле к одному из возможных классов, можно по различным признакам: по занимаемой площади, по ее конфигурации, по средней интенсивности поля, по форме трехмерной фигуры при геометрической интерпретации поля количественного признака и т.д. (не говоря

уже о физической природе этого поля). Ряд из этих классификационных признаков (такие как площадь, занимаемая полем, его средняя интенсивность или суммарный объем трехмерной фигуры, отображающей поле) характеризуются четкими количественными критериями и для построения классификатора достаточно задать границы каждого класса по данному классификационному признаку. В этом случае задачи решаются чисто детерминированным методом. Подобные задачи становятся стохастическими, если границы геоинформационных полей размыты или заданы нечетко или сами поля представлены статистическим множеством измерений его интенсивности в каких-то дискретных точках пространства. При этом понятие границы поля информационного признака становится неопределенным, а значит, и значения критерия (классификационного признака), по которому проводится классификация, для конкретных реализаций геоинформационных полей могут быть вычислены с ограниченной точностью.

Если количественных классификационных признаков несколько, и они образуют многомерное пространство, в котором необходимо проводить классификацию, причем имеется обучающая выборка уже классифицированных реализаций полей данного информационного признака, то классификатор может строиться с помощью различных детерминистских методов. При этом, хотя сами реализации объектов классификации представляют собой пространственно-распределенные поля, но в пространстве классификационных признаков каждая такая реализация представляется точкой с координатами, соответствующими значениям этих классификационных признаков для данной реализации. Поэтому для классификации этих реализаций могут без всяких ограничений применяться такие детерминистские методы, как метод эталонов, метод дискриминантных функций, метод ближайших соседей и другие.

Наиболее сложными являются такие задачи классификации, в которых не заданы критерии классификации, т.е. те информативные признаки, по которым должна проводиться классификация, и не определен весь алфавит классов. Обычно исходная информация в таких задачах представлена некоторым количеством уже классифицированных реализаций, для которых известны (или могут быть измерены) определенное число каких-то количественных характеристик, которые можно рассматривать как информативные признаки, в пространстве которых можно строить классификатор, но неизвестно, является ли данное множество информативных признаков достаточным, недостаточным или избыточным. Кроме того, помимо тех классов, которые представлены в обучающей выборке, могут существовать и другие классы, о которых ничего не известно. По представленной выборке из множества информативных признаков необходимо найти то минимальное подмножество, а для него такой классификатор, который, во-первых, позволял бы безо-

шибочно классифицировать реализации обучающей выборки, а во-вторых, – с максимальной достоверностью классифицировал новые реализации, если они относятся к одному из представленных в обучающей выборке классов. Если же новая реализация относится к неучтенному классу, то она не должна ошибочно отождествляться с каким-то из представленных классов, т.е. не должна относиться ни к одному из этих классов. Для таких задач принципиальное значение имеют вопросы определения степени информативности классификационных признаков и методов отбора их минимальной совокупности для построения классификатора. Эти вопросы рассматривались автором в [2-4].

Для *динамических* задач основным признаком классификации является поведение геоинформационных полей во времени. Здесь можно рассматривать такие классы геоинформационных процессов, как: *медленные процессы*, поля которых за рассматриваемый интервал времени практически не изменяются; *периодические процессы* (например, природные и хозяйственные процессы, связанные с временами года); *затухающие процессы* (например, процессы, связанные с последствиями природных или техногенных катастроф); *развивающиеся процессы*, характеризующиеся постепенным усилением и территориальным расширением связанных с ними геоинформационных полей; *миграционные процессы*, связанные с постепенным дрейфом соответствующих геоинформационных полей по географическим координатам, и др. Для одних из них основными классификационными критериями является характер и скорость изменения географических координат поля, для других – изменения информационного признака, для третьих – и то, и другое вместе. Анализ изменений географических координат и информационного признака по отдельности труда не представляют. Но оценка их совокупных изменений – задача не тривиальная. Одним из возможных методов такого анализа является построение предложенной в предыдущем разделе функции автопересечений геоинформационного поля. Соответственно критериями классификации могут являться отдельные параметры этой функции. Но для таких классификационных признаков, как форма (как плоских, так и трехмерных фигур, образуемых полем) простые количественные критерии найти весьма сложно. В этих случаях целесообразно воспользоваться широким арсеналом методов распознавания образов, выбор из которых должен определяться специфическими особенностями конкретной задачи.

7. *Построение математических моделей взаимосвязей геоинформационных полей (для статических систем).* Такая задача может ставиться лишь для информационных полей количественных признаков. Если априорно все анализируемые информационные признаки разделены на факторные и результирующие, то можно отсеять все незначимые факторные признаки, применяя те же методы, которые обсуждались при рассмотрении четвертой

группы задач. Тогда для каждого результирующего признака будет получено подмножество наиболее значимых факторных признаков и остается лишь построить математические модели этих связей. Отличие этих задач от традиционных задач многомерного регрессионного анализа состоит в том, что каждая переменная, между которыми ищется зависимость, представлена не совокупностью своих реализаций (или своих значений, которые можно представить как реализации случайной величины), а трехмерным полем распределения, где две координаты являются геометрическими, а третья представляет собой значение информационного признака. Однако это отличие не повлияет на математический аппарат построения математической модели, если условиться, что целью данной модели является наиболее точное воспроизведение "рельефа" значений результирующего признака, привязанных к геометрическим координатам, по задаваемым "рельефам" факторных признаков для тех же координатных точек. Другими словами, такая модель должна с наибольшей возможной точностью предсказывать значение результирующего признака для каждой точки геометрических координат по заданным значениям факторных признаков для тех же геометрических координат. Использование же математического аппарата МНК (метода наименьших квадратов) позволит минимизировать усредненную по всем координатным точкам ошибку определения результирующего признака. Отбор значимых факторов по сравнению с традиционными задачами регрессионного анализа существенно облегчается, т.к. при использовании парных коэффициентов пересечений каждого факторного признака с результирующим на них не будут влиять другие факторы, связанные с тем же результирующим признаком. При этом, для подбора модели оптимального вида и сложности можно воспользоваться теми же критериями, что и для традиционных задач регрессионного анализа в их общей постановке (когда заранее не определены ни множество факторных признаков, ни вид модели) [5].

Теперь обратимся к динамическим задачам. Прежде всего, следует рассмотреть возможные методы прогнозирования изменений отдельно взятого динамического геоинформационного поля. Определенные представления о характере ожидаемых изменений можно получить, построив и проанализировав функцию автопересечений этого поля. Дополнительные сведения можно получить, построив временные и пространственные тренды и сезонные колебания наиболее важных интегральных характеристик этого поля (таких, как средняя интенсивность, максимальная интенсивность, площадь распространения и др.). Однако все эти методы не позволяют прогнозировать будущие значения интенсивности поля в какой-то конкретной точке данного поля. Для этого пригоден лишь метод авторегрессии. Он широко применяется для анализа и прогнозирования временных рядов и, в принципе, его можно напрямую применить для построе-

ния авторегрессии для любой географически заданной точки поля. Действительно, для каждой фиксированной координатной точки поля последовательность мгновенных значений поля будет представлять обычный временной ряд, и для него может быть построено уравнение авторегрессии, предсказывающее значение информационного признака в данной точке поля по некоторой последовательности измеренных предыдущих значений. Построив уравнение авторегрессии, можно последовательно, шаг за шагом, вычислять значение информационного признака на один, два, три и т.д. интервалов дискретизации вперед. В принципе, ничто не мешает построить такие уравнения для каждой точки поля (кроме большого объема вычислительной работы) и с их помощью прогнозировать будущие состояния поля в любой его точке или во всех сразу.

Более сложной задачей является построение количественной модели связи нескольких пересекающихся геоинформационных полей. Для отбора значимых факторных полей здесь с успехом можно применить введенные выше функции кросспересечений. При этом, если имеет место инерционность воздействия тех или иных факторов, то она может быть учтена введением соответствующего времени запаздывания при построении функции кросспересечения результирующего признака с данным фактором. Что же касается построения самих математических моделей, то они должны определяться методами многомерной регрессии для синхронных (или запаздывающих на заданный интервал времени) кадров учитываемых полей. Могут находиться регрессионные модели как для некоторых интегральных параметров результирующего поля, так и для значений результирующего поля в конкретных координатных точках. Так же, как и в предыдущем случае, ничто не мешает при необходимости определить такие уравнения для каждой точки пространства, занимаемого результирующим полем.

**8. Оптимизационные задачи.** Можно представить несколько разновидностей геоинформационных оптимизационных задач, для решения которых потребуются различные методы.

**8.1. Оптимизация размещения геоинформационного поля на географической местности с учетом ее геофизических особенностей.** Примерами таких задач могут служить от-вод земли под новое строительство, планирование площадей сельскохозяйственных земель под возделывание той или иной культуры и т.д. Для решения этих задач можно использовать математический аппарат линейного программирования. Основные трудности при этом будут заключаться в формализации геофизических особенностей местности, которые должны учитываться при решении задачи, а также налагаемых ограничений и критериев оптимизации.

Важной модификацией этой задачи является *задача оптимального выбора места для размещения какого-либо объекта*. От предыдущей данная задача отличается тем, что, как правило, не существует

единого четкого критерия оптимальности размещения. Можно сформулировать лишь весьма нечеткие "функции предпочтения", которые следует учитывать при выборе места размещения объекта. Для формализации таких функций предпочтения приходится привлекать методы нечеткой логики или лингвистические методы. Пример подобной задачи рассмотрен в [6].

Особой спецификой отличаются данные задачи при *размещении (трассировке) протяженных объектов: дорог, трубопроводных магистралей, линий электропередач и др.* Основной проблемой при их решении является учет влияния геофизических особенностей местности на экономические затраты при строительстве данного объекта.

**8.2. Оптимизация размещения нескольких непересекающихся геоинформационных полей на географической местности с учетом ее геофизических особенностей и функций предпочтений для каждого геоинформационного поля.** Такие задачи ежегодно приходится решать сельскохозяйственным предприятиям при размещении посевов различных сельскохозяйственных культур. При этом заданными следует считать общую площадь пахотных земель и площади, отводимые под каждую культуру. Здесь также не существует четких критериев оптимальности и приходится использовать "нечеткие" знания, выражаемые в виде функций предпочтения и выводов из прошлого опыта. Здесь же должны учитываться и более четкие требования севооборота. В принципе, эти задачи имеют много общего со второй модификацией предыдущей задачи, но требуют учета большего числа ограничений и являются более громоздкими.

**8.3. Задачи оптимального выбора физической природы непересекающихся геоинформационных полей и их оптимального размещения на заданной географической местности.** Эти задачи фактически являются более общей постановкой задач предыдущего типа, когда исходный набор физических геоинформационных признаков не задан и его следует выбирать как подмножество не заданной размерности из весьма обширного общего множества таких признаков. Если в качестве примеров опять обратиться к сельскохозяйственным задачам, то этому классу задач будут соответствовать задачи оптимального планирования использования имеющихся сельскохозяйственных угодий. Здесь основным критерием оптимальности является экономическая эффективность сельскохозяйственного производства. Однако, данный критерий вбирает в себя множество частных критериев и разнообразных функций предпочтения, которые невозможно выразить детерминированными функциями. Кроме того, это типично системная задача, которая требует учета влияния многочисленных факторов окружения, как экономического, так и технического и социального характера, особенно если ее решать не в масштабах отдельного хозяйства, а в масштабах района или области.

**8.4. Оптимизация поля результирующего информационного признака путем подбора определенных факторных признаков и их интенсивностей.** Суть этой задачи можно иллюстрировать типичной задачей сельскохозяйственного производства - оптимизации агротехнологии выращивания определенной сельскохозяйственной культуры с учетом геофизических особенностей размещения посевных площадей и воздействия погодных условий. Эти задачи являются развитием и обобщением задач 4, 5 и 7-го классов. В качестве активных воздействующих факторов здесь выступают агротехнологические приемы предпосевной обработки почвы и сроки ее проведения (с учетом погодных условий, которые также выражаются геоинформационными динамическими полями); виды вносимых удобрений и гербицидов, количество и сроки их внесения; виды и сроки промежуточной агротехнической обработки посевов (прополка, культивация, подкормка и т.п.); сроки уборки урожая. Для решения подобных задач частично могут использоваться те количественные математические модели, которые могут быть получены при решении задач 7-го класса по результатам хозяйствования за предыдущие годы. Однако, учитывая разнообразие погодных и других внешних условий, для достоверного учета которых нужна статистика за многие годы, вряд ли можно надеяться на получение достаточно

достоверных прогностических (предсказательных) количественных моделей. Скорее всего, эти задачи придется решать с использованием технологий искусственного интеллекта: нечетких множеств, нечеткой логики, экспертных систем, основанных на формировании баз знаний в данной предметной области и использовании функций предпочтений, генетических, продукционных алгоритмов и т.п. для вывода решений. Для получения же самих функций предпочтений могут быть использованы решения задач 4-го класса по результатам хозяйствования за предыдущие годы.

**8.5. Задачи массового обслуживания применительно к обслуживанию территорий.** Сюда относятся многочисленные задачи, начиная с классической задачи коммивояжера и кончая задачами оптимального размещения торговых точек, отделений связи, организации различных информационных сетей, включая радиотелефонные (сотовые) сети связи, сети сбора данных для задач экологического мониторинга территорий и т.п. Применительно к координатно-привязанной информации эти задачи также имеют специфику, отличающую их от классических задач массового обслуживания. Но они настолько разнообразны, что пока трудно говорить об общих методах их решения. Скорее всего, здесь также не обойтись без использования методов искусственного интеллекта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. - М.: Финансы и статистика, 1998. - 288 с.
2. Дрейзин В.Э. Основные проблемы применения методов распознавания образов для решения классификационных задач неразрушающего контроля // Методы и приборы автоматического неразрушающего контроля. - Рига: РПИ, 1982. - С. 77-89.
3. Дрейзин В.Э., Иванов В.И. Критерии для предварительного отбора информативных признаков при распознавании образов // Известия вузов: Приборостроение. - 1982. - Т. 25. - № 11. - С. 48-52.
4. Дрейзин В.Э. Оценка значимости улучшения критериев информативности признаков при отборе их оптимальной совокупности для решения классификационных задач // Методы и приборы автоматического неразрушающего контроля. - Рига: РПИ, 1983. - С. 68-76.
5. Дрейзин В.Э. О статистическом подходе к решению многопараметровых метрических задач неразрушающего контроля // Дефектоскопия. - 1981. - № 3. - С. 5-14.
6. Беляков С.Л. Нечеткие знания и вывод в геоинформационной системе // Информационные технологии. - 2001. - № 12. - С. 16-19.