

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕМЛИ
ИЗ КОСМОСА

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

МОСКВА

УДК 629.78 : 551.46.0

© 1995 г. В. Г. БОНДУР, А. И. САВИН

**ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЕЙ СИГНАЛОВ НА ВХОДЕ
АППАРАТУРЫ ДЗ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Проанализированы общие закономерности формирования полей электромагнитных сигналов, формируемых зондируемыми объектами и фонами, на входе различных типов бортовой аэрокосмической аппаратуры. Предложен метод информационного моделирования фонов-целей обстановки для систем мониторинга окружающей среды. Обобщение исходных данных об объектах дистанционного зондирования в виде моделей целей, фонов и фонов-целей обстановки обеспечивает оптимальные пути построения и функционирования аэрокосмических систем глобального наблюдения.

Введение. Одним из важнейших условий создания аэрокосмических систем мониторинга окружающей среды является наличие достоверной информации о полях сигналов, формируемых зондируемыми объектами и окружающими их фонами, регистрируемых бортовой аппаратурой ДЗ (электромагнитное излучение, гравитационное и магнитное поля, акустические волны и др.) [1—4]. Адекватное описание этих полей на входе дистанционной аппаратуры представляет собой сложную научную проблему, так как процессы формирования сигналов от многочисленных объектов окружающей среды и фонов зависят от большого числа внешних и внутренних факторов, а их природа не всегда выяснена до конца. Информацию о сигналах, регистрируемых бортовой аппаратурой аэрокосмических систем глобального наблюдения, целесообразно представлять в виде моделей объектов наблюдения (целей), фонов и фонов-целей обстановки (ФЦО) [1], которые предназначены для [1—3):

разработки принципов и путей построения бортовой аппаратуры ДЗ и выбора таких важнейших ее характеристик, как полоса обзора, пространственное разрешение, спектральный диапазон, чувствительность, динамический диапазон, постоянная времени и т. п.;

оценки мерительных возможностей существующей, разрабатываемой и перспективной аппаратуры, уточнение ее параметров и определение путей модернизации;

выбора принципов орбитального построения и предъявления требований к летательным аппаратам—носителям аппаратуры;

создания наземных и бортовых программных и технических средств обработки, хранения и отображения информации;

создания имитационных моделей для тестирования дистанционной аппаратуры, программных и технических средств обработки информации, а также информационного тракта системы в целом;

прогнозных оценок сигналов от объектов дистанционного зондирования и фонов при проведении натурных экспериментов;

оценки эффективности системы в целом, ее отдельных подсистем и элементов во всем диапазоне реальных условий применения, в том числе в ситуациях, которые не могут быть реализованы путем натурных испытаний;

разработки измерительной аппаратуры для проведения экспериментальных исследований с целью получения исходных данных о характеристиках исследуемых объектов и явлений окружающей среды.

Для описания полей сигналов, обусловленных объектами наблюдения и фонами в атмосфере, океане, на суше и в космосе, необходимо учитывать свойственные им особенности и специфику используемых методов и средств дистанционного зондирования. Однако процедуры синтеза моделей субъектов наблюдения, фонов и ФЦО для различных аэрокосмических систем глобального наблюдения имеют много общего. В связи с этим должна быть разработана общая методология создания таких моделей.

Принципы формирования полей сигналов на входе бортовой аппаратуры ДЗ. В современных системах дистанционного зондирования наиболее часто регистрируются параметры электромагнитных сигналов излучаемых, отражаемых или рассеиваемых исследуемыми объектами, хотя могут быть использованы также методы, основанные на регистрации и других физических полей (магнитного, гравитационного, потоков частиц и др.) [1—3, 5—8]. В любом случае фиксируемые дистанционной аппаратурой сигналы несут информацию о свойствах объектов зондирования и фонов, находящихся в пределах полей обзора.

Процесс формирования полей электромагнитных сигналов на входе бортовой аппаратуры ДЗ можно представить в виде структурной схемы, приведенной на рис. 1.

Поле сигналов, обусловленное различными объектами, может быть описано зависимостью

$$L = f(x, y, z, \gamma, \delta, \lambda, p_n, t), \quad (1)$$

где x, y, z — пространственные координаты; γ, δ — углы наблюдения по азимуту и возвышению; λ — длина волны электромагнитного излучения; p_n — степень поляризации; t — время.

Кроме того, необходимо учитывать, что регистрируемые сигналы изменяются в зависимости от таких факторов, как условия освещения (или облучения) L_0 , характеристики среды распространения A (обычно характеристики атмосферы), метеорологические условия Ξ , физические свойства объектов наблюдения (целей)

O_n^* и фонов O_n^* [8—12]. Например, для систем пассивного типа условия освещения можно представить в виде зависимости

$$L_0 = L_0^n = L_0^0(E_0, T_c, t_c, B_r), \quad (2)$$

где E_0 — солнечная постоянная; T_c — сезон наблюдения; t_c — время суток; B_r — географическая широта.

Для систем активного типа (лидары, радары и др.) условия облучения зависят от мощности излучателя P_n , времени задержки Δt , частоты f , формы Φ импульсов (при импульсном облучении) и других параметров:

$$L_0 = L_0^A = L_0^A(P_n, \Delta t, f, \Phi, \dots). \quad (3)$$

Характеристики атмосферы, вносящие основной вклад в искажение сигналов на трассе зондирования, могут быть представлены в виде функциональной зависимости [9, 12]

$$A = A(\tau_0, \Pi_A, P_{\text{ос}}), \quad (4)$$

где τ_0 — коэффициент пропускания; Π_A — пространственно-частотная характеристика; $P_{\text{ос}}$ — вероятность закрытости трассы зондирования облачностью.

Метеорологические условия, влияющие на характеристики атмосферы, физи-

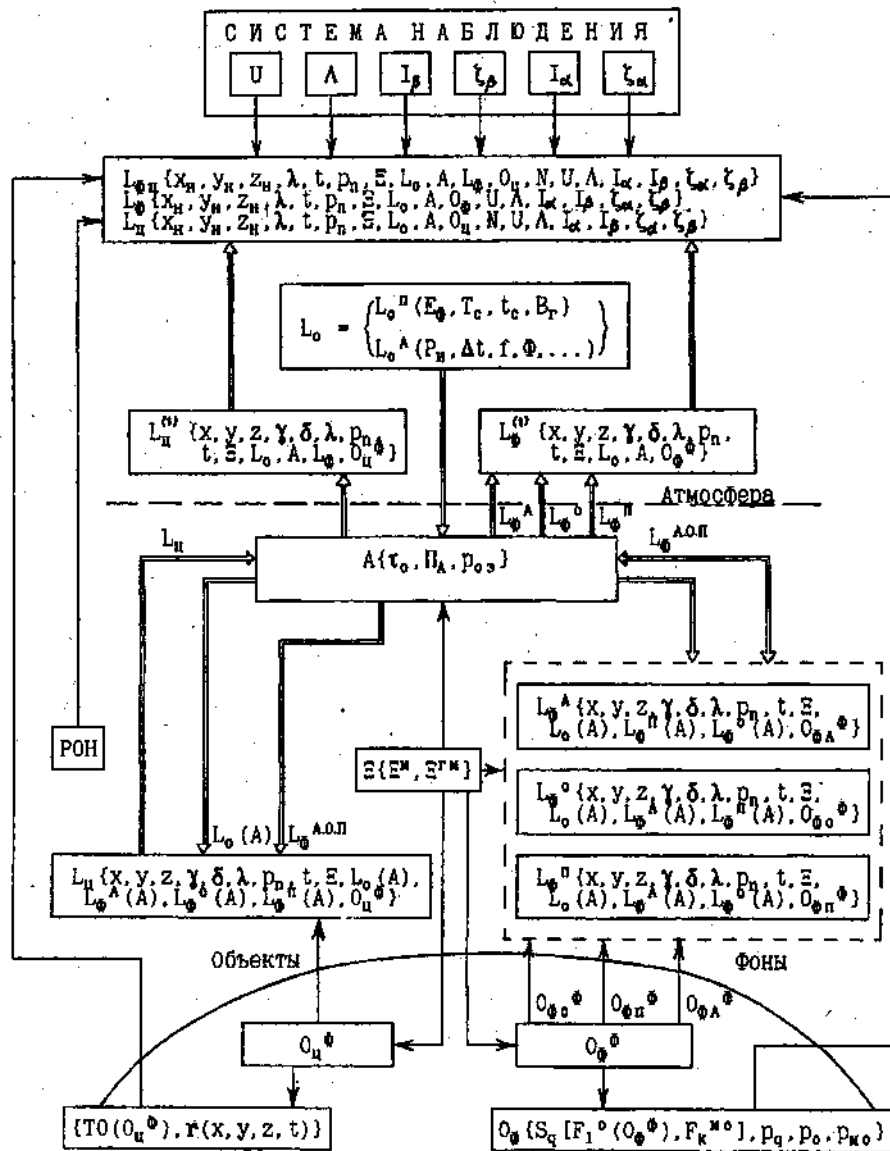


Рис. 1. Схема формирования полей сигналов на входе дистанционной аппаратуры

ческие свойства объектов и фонов, а через них, естественно, на сигналы от целей L_n и фонов L_b (см. рис. 1), можно представить в виде [10, 12]

$$\Xi = \Xi \{ \Xi^M [B_o, H_{vpo}, H_{npo}, \vec{V}_B, \vec{V}^o, Q, T(H), f(H), P(H), C_n(H), n(H), \dots], \Xi^{FK} [B_o, V_o, n_o, T(h), \rho(h), \xi(H), \delta(h), n(h), \dots] \}, \quad (5)$$

где Ξ^M, Ξ^{FK} — метеорологические и гидрометеорологические параметры; B_o — балл облачности; H_{vpo}, H_{npo} — высоты верхней и нижней границ облачности; \vec{V}_B — вектор скорости ветра на высоте облачности; \vec{V}^o — скорость вертикального перемещения облачности; Q — осадки (дождь, снег, морось, и т. п.); $T(H), f(H), P(H), C_n(H), n(H)$ — высотные распределения температуры, влажности, давления,

структурной функции, показателя преломления атмосферы соответственно; B_v — балльность волнения; \vec{V}_v — вектор скорости приповерхностного ветра; n_v — число систем волн; $T(h)$, $\rho(h)$, $\varepsilon(H)$, $\delta(h)$, $n(h)$ — распределения по глубине температуры, плотности, коэффициентов ослабления, рассеяния и преломления соответственно. В оптическом диапазоне спектра сигналы от фона определяются совместным действием трех взаимозависимых составляющих: яркостями поверхности L_Φ^n , облачности L_Φ^A , L_Φ^o и толщи атмосферы L_Φ^t , которые могут быть представлены в виде зависимостей

$$L_\Phi^n = L_\Phi^n [x, y, z, \gamma, \delta, \lambda, p_n, t, \Xi, L_o(A), L_\Phi^A(A), L_\Phi^o(A), O_{\Phi n}^\Phi], \quad (6)$$

$$L_\Phi^o = L_\Phi^o [x, y, z, \gamma, \delta, \lambda, p_n, t, \Xi, L_o(A), L_\Phi^A(A), L_\Phi^n(A), O_{\Phi o}^\Phi], \quad (7)$$

$$L_\Phi^t = L_\Phi^t [x, y, z, \gamma, \delta, \lambda, p_n, t, \Xi, L_o(A), L_\Phi^A(A), L_\Phi^o(A), O_{\Phi t}^\Phi], \quad (8)$$

где $L_o(A)$, $L_\Phi^o(A)$, $L_\Phi^A(A)$, $L_\Phi^n(A)$ — сигналы, формируемые источником освещения, облаками, толщиной атмосферы и поверхностью, ослабленные атмосферой; $O_{\Phi n}^\Phi$,

$O_{\Phi o}^\Phi$, $O_{\Phi t}^\Phi$ — физические свойства поверхности, облачности и атмосферы соответственно.

При наблюдении объектов гидросферы на длинах волн $\lambda < 0,6$ мкм к этим составляющим может прибавиться яркость излучения, выходящего из толщи воды [11].

Распределение сигналов от объектов зондирования (целей) можно описать зависимостью

$$L_u = L_u [x, y, z, \gamma, \delta, \lambda, p_n, t, \Xi, L_o(A), L_\Phi(A), O_u^\Phi], \quad (9)$$

где $L_\Phi(A)$ — сигналы от фона, искаженные атмосферой.

В оптическом диапазоне спектра с учетом (6) — (8) эта зависимость может быть представлена в виде

$$L_u = L_u [x, y, z, \gamma, \delta, \lambda, p_n, t, \Xi, L_o(A), L_\Phi^A(A), L_\Phi^o(A), L_\Phi^n(A), O_u^\Phi]. \quad (10)$$

При использовании лидаров различных типов необходимо учитывать процессы взаимодействия лазерного излучения с веществом исследуемых объектов — флюоресценцию, поглощение, дифференциальное поглощение, различные виды рассеяния (рэлеевское, комбинационное, резонансное, Мендельштама — Бриллюэна и т. д.) и др. [9, 13].

При использовании радарных и пассивных микроволновых методов дистанционного зондирования регистрируемые сигналы определяются в основном удельными эффективными поверхностями рассеяния (УЭПР), зависящими от комплексной диэлектрической проницаемости и степени шероховатости, а также радиояркостными температурами исследуемых объектов [5—8, 14].

На выходе из атмосферы сигналы от объектов и фонов можно представить в виде

$$L_u^{(1)} = L_u^{(1)} [x, y, z, \gamma, \delta, \lambda, p_n, t, \Xi, L_o, A, L_\Phi, O_u^\Phi], \quad (11)$$

$$L_\Phi^{(1)} = L_\Phi^{(1)} [x, y, z, \gamma, \delta, \lambda, p_n, t, \Xi, L_o, A, O_\Phi^\Phi]. \quad (12)$$

Разделение всей совокупности наблюдаемых образований и явлений окружающей среды на объекты зондирования (цели) и окружающие их фоновые поля в определенной степени условно. В зависимости от характера задач, решаемых системой дистанционного зондирования (экологический мониторинг, исследование

природных ресурсов, контроль чрезвычайных ситуаций, контроль погодообразующих и климатообразующих факторов и т. д.), объекты зондирования и фоновые объекты могут меняться местами [2-4].

Все многообразие наблюдаемых фоновых полей можно разделить на совокупность образований, характеризующихся стабильностью каких-либо свойств. К ним можно отнести множество однородных фоновых объектов $\{F_i^o\}_i^p$, имеющих постоянную форму электромагнитных спектров, а следовательно, и стабильные физические свойства [15], а также множество морфологически однородных фоновых образований

$\{F_k^{mo}\}_{k=1}^k = \bigcup_{l=1}^l F_o^l$ характеризующихся однородностью текстуры и, как правило, постоянством формы двумерных пространственных спектров [16, 17].

Однородные фоновые объекты и морфологические однородные фоновые образования формируют множество фоновых ситуаций:

$$S_q = \{F_k^{mo} = \bigcup_{l=1}^l F_o^l\}_{k=1}^k, \quad (13)$$

различающихся по степени схожести на объекты наблюдения (цели). Таким образом, типы фоновых полей можно представить в виде

$$O_\phi = \{S_q [F_i^o (O_\phi^o), F_k^{mo}], P_q, P_o, P_{mo}\}, \quad (14)$$

где P_q, P_o, P_{mo} — вероятности появления соответствующего типа фонового образования.

Сигналы, формируемые объектами наблюдения, зависят от их типов $TO (O_\phi^o)$, имеющих определенные физические свойства O_ϕ^o , и радиуса-вектора положения объектов в геоцентрической системе координат $r(x, y, z, t)$

$$O_\phi = \{TO (O_\phi^o), r(x, y, z, t)\}, \quad (15)$$

а также от закономерностей распределения объектов в пределах наблюдаемого района (РОН).

На регистрируемые сигналы накладывают ограничения характеристики дистанционной системы наблюдения

$$U = \{N_a, R_a^{(i)}(x, y, z, t), \Pi_{py}^{(i)}, K_{no}^{(i)}, V^{(i)}(x_a, y_a, z_a, t), T_c, \Delta T_c\}, \quad (16)$$

где N_a — число летательных аппаратов; $R_a^{(i)}(x, y, z, t)$ — радиус-вектор положения

летательных аппаратов в геоцентрической системе координат; $\Pi_{py}^{(i)}$ — параметры рабочих участков траектории движения; $K_{no}^{(i)}$ — координаты центров полей обзора на поверхности Земли; $V^{(i)}(x_a, y_a, z_a, t)$ — вектор колебаний летательных аппаратов в собственных системах координат; $T_c, \Delta T_c$ — продолжительность сеансов связи и промежутков времени между ними; i — индекс летательного аппарата.

Характер информации о полях регистрируемых сигналов зависит от используемых методов дистанционного зондирования и от типов аппаратуры — ТА (фотографическая, телевизионная, спектральная, радиометрическая, тепловизионная, радиолокационная, лидарная и т. д.) — и от таких ее характеристик, как α_3, β_3 — углы поля зрения; $\Delta r_n (\Delta x_n, \Delta y_n)$ — пространственное разрешение в плоскости наблюдения; E_n — пороговая чувствительность; D — динамический диапазон; T_k — время формирования кадра; ΔT_k — интервал времени между кадрами; τ_n — постоянная времени приемного элемента; $\Delta \lambda$ — спектральный диапазон; $\varphi(\lambda)$ — спектральная чувствительность и др.:

$$A = \{TA, \alpha_3, \beta_3, \Delta r_n (\Delta x_n, \Delta y_n), \Delta \lambda, \varphi(\lambda), E_n, D, T_k, \Delta T_k, \tau_n, \dots\}. \quad (17)$$

На регистрируемые сигналы влияют также характеристики наземных I_a и бортовых I_b систем обработки:

$$I_{a, \beta} = \{V_{об}, n_x^t, n_y^t, n_E^t, N_n, N_{nE}, \epsilon^t, \dots\}, \quad (18)$$

где $V_{об}$ — быстродействие систем обработки; n_x^t, n_y^t — частота дискретизации по пространству; n_E^t — число уровней квантования; N_n, N_{nE} — объем ячеек памяти и суммарный объем памяти в вычислительных средствах; ϵ^t — точность обработки; а также параметры, применяемые при наземной ζ_a и бортовой ζ_b обработке:

$$\zeta_{a, \beta} = \{x_i, h_{xi}, \Delta x_i, N_n, k_\phi, N_x^\phi, N_y^\phi, \dots\}, \quad (19)$$

где x_i — типы информативных признаков; h_{xi} — пороговые уровни; Δx_i — ширина класс-интервалов, используемых для построения эмпирических распределений; N_n — объемы выборок; k_ϕ — характеристики используемых фильтров; N_x^ϕ, N_y^ϕ — размеры обрабатываемых фрагментов по координатам x и y и др.

Учитывая вышеизложенное, сигналы на входе бортовой аппаратуры ДЗ аэрокосмических систем наблюдения можно представить в виде: для фоновой обстановки

$$L_\phi = L_\phi(x_n, y_n, z_n, \lambda, p_n, t, \Xi, L_o, A, O_\phi, U, \Lambda, I_a, I_\beta, \zeta_a, \zeta_\beta), \quad (20)$$

для целевой обстановки

$$L_u = L_u(x_n, y_n, z_n, \lambda, p_n, t, \Xi, L_o, A, O_u, N, U, \Lambda, I_a, I_\beta, \zeta_a, \zeta_\beta), \quad (21)$$

для фоново-целевой обстановки (при формировании сигналов от объектов наблюдения и фонов одновременно)

$$L_{\phi u} = L_{\phi u}(x_n, y_n, z_n, \lambda, p_n, t, \Xi, L_o, A, B_\phi, O_u, N, U, \Lambda, I_a, I_\beta, \zeta_a, \zeta_\beta), \quad (22)$$

где x_n, y_n, z_n — координаты на входе аппаратуры.

Таким образом, сигналы на входе дистанционной аппаратуры являются функциями пространственных координат, времени, длины волны и поляризации электромагнитного излучения и зависят от множества взаимосвязанных и взаимозависимых свойств окружающей среды, типов наблюдаемых объектов и фонов, а также от характеристик дистанционных систем наблюдения. Большинство из этих факторов изменяется случайным образом, что приводит к случайному характеру полей регистрируемых сигналов. Учитывая чрезвычайно сложный характер формирования этих полей, для создания моделей фоново-целевой обстановки требуется разработка специальных методов.

Методы моделирования. Известно несколько методов, которые могут быть использованы при моделировании ФЦО на входе бортовых сенсоров аэрокосмических систем мониторинга окружающей среды. Основными из них являются: физические [18—21], математические [18, 21—23] и полунатурные [20, 24].

При физическом моделировании воспроизводится изучаемый процесс (оригинал) с сохранением его физической природы. Преимуществом этого метода моделирования по сравнению с натурным экспериментом является то, что условия реализации процесса — модели могут существенно отличаться от условий, свойственных реальному процессу [18, 20, 21].

Под математической моделью исследуемых объектов понимают обычно совокупность соотношений (формул, уравнений, неравенств, логических условий, операторов и т. д.), определяющих характеристики состояний системы (а через них и выходные сигналы) в зависимости от параметров входных сигналов, начальных условий и времени [21, 23, 25, 26].

С использованием математического моделирования появляются широкие возможности для проведения вычислительных экспериментов, которые позволяют

имитировать на ЭВМ поведение исследуемых объектов в различных условиях и находить оптимальные параметры и режимы [26].

Полунатурное моделирование применяется для оценки аппаратурных решений, экономических оценок, при отработке систем для принятия решений о проведении натурных испытаний и т. п. [24].

При синтезе моделей ФЦО для систем дистанционного зондирования применение методов физического моделирования затруднено ввиду того, что процессы формирования полей сигналов на входе дистанционной аппаратуры чрезвычайно сложны и зависят от множества факторов. Эти методы могут использоваться для изучения отдельных аспектов таких процессов, например гидродинамических и газодинамических явлений, прохождения излучения через различные среды [9—12, 19] и т. п.

Крайне сложно также создание «сквозных» математических моделей формирования полей сигналов от исследуемых объектов, так как в этом случае необходимо использовать многомерные модели с большим количеством соотношений и переменных. Из-за громоздкости таких моделей становится неприемлемым их аналитическое исследование, усложняются задачи идентификации параметров, информационного обеспечения и проверки на адекватность [25].

В связи с этим при разработке моделей ФЦО целесообразно использовать систему частных моделей, описывающих отдельные стороны процесса формирования полей сигналов от фонов и целей на входе дистанционной аппаратуры. А комплексную модель ФЦО можно разрабатывать путем многомодельного описания на основании частных моделей, разрабатываемых в соответствии с основными блоками рис. 1. К ним можно отнести: модели объектов и фонов, описывающие их энергетические и пространственные характеристики; модели распределения объектов наблюдения (РОН) и региональные географо-климатические модели (РГК), содержащие распределение наблюдаемых объектов и фонов по районам в зависимости от сезона и вероятности их появления в этих районах; модели передаточных характеристик атмосферы или другой среды распространения электромагнитного излучения; модели геофизических параметров атмосферы (ГФПА); метеорологические модели (М), содержащие результаты объективного районирования земного шара по метеорологическим параметрам, обобщение режимов облачности и профилей основных компонент атмосферы [10, 12].

В состав собственно комплексных моделей ФЦО можно включить модели фоновых M_Φ , целевых M_Ψ и фоновых-целевых $M_{\Phi\Psi}$ полей, а также классификацию фоновых ситуаций S_q по степени их похожести на объекты наблюдения, в соответствии с которой все многообразие наблюдаемых фонов представляется в виде ограниченного множества ситуаций при ограниченном наборе условий

$$W_m^\Phi$$

$$C = \{S_q / W_m^\Phi\}_{q=1}^Q, \quad (23)$$

где q, Q — индекс групп ситуаций.

Кроме того, в состав комплексных моделей ФЦО целесообразно ввести модели синтеза тестовых реализаций стохастических полей сигналов $M_T^{(q,k)}$ (k — индекс тестовой реализации), обеспечивающие формирование не только усредненных полей признаков исследуемых явлений, но и их конкретных реализаций.

Для объединения отдельных частных моделей в состав комплексной модели ФЦО введем дополнительную технологическую модель учета условий наблюдения $M(W)$, обеспечивающую пересчет геометрических координат в единую плоскость (картинную), а также пересчет всех информативных признаков полей входных сигналов на конкретные условия наблюдения.

Таким образом, можно записать

$$M_{\text{ФЦО}} = \{M_\Phi, M_\Psi, M_{\Phi\Psi}, C(S_q / W_m^\Phi), M_T^{(q,k)}, M(W)\}. \quad (24)$$

При таком многомодельном описании все составляющие комплексных моделей

должны быть связаны между собой общими переменными, которые, являясь выходами одной или нескольких моделей, служат входами для других моделей. При этом информационные характеристики всех блоков и трактов моделей ФЦО должны быть согласованы, а обмен информацией между отдельными составляющими должен быть минимальным [21, 25]. При построении как комплексных, так и частных моделей необходимо использовать и результаты натуральных экспериментов, проводимых в условиях, близких к условиям эксплуатации реальных аэрокосмических систем дистанционного зондирования [1—3].

Такой подход к моделированию полей сигналов на входе дистанционной аппаратуры является информационным. В соответствии с ним под комплексными моделями ФЦО для систем мониторинга окружающей среды будем понимать системы взаимодействующих между собой элементов, которыми являются модели фоновой, целевой и фоново-целевой обстановок, классификация фоновых ситуаций по степени их похожести на объекты наблюдения, а также модели тестовых реализаций стохастических полей яркости, отображающие внутренние и внешние признаки, характеризующие процессы формирования полей сигналов, обусловленных наблюдаемыми объектами и фонами, применительно к условиям функционирования конкретных аэрокосмических средств дистанционного зондирования.

Блок-схема комплексных информационных моделей. Для комплексных моделей ФЦО можно выделить параметры, характеризующие их состояние, структуру, связи и процессы, протекающие в исследуемых явлениях. Совокупность таких параметров можно разбить на следующие основные группы [22, 24]:

входные, к которым относятся параметры, воздействующие на вход системы и ограничения, наложенные в процессе проектирования;

выходные, отражающие реальные характеристики исследуемых явлений;

параметры состояния, определяющие их внутреннюю структуру и динамику функционирования;

управляющие, оказывающие прямое воздействие на исследуемый процесс;

возмущающие, изменяющиеся случайным образом с течением времени и воздействующие на систему так, чтобы нарушить функциональную связь между входными и выходными параметрами.

Обобщенная блок-схема комплексных информационных моделей ФЦО приведена на рис. 2.

К входным параметрам (входным данным) таких моделей отнесем:

частные модели, перечисленные ранее, описывающие энергетические, пространственные и динамические характеристики наблюдаемых объектов и фонов, метеорологические и региональные географо-климатические модели, модели передаточных характеристик среды распространения, модели распределения объектов наблюдения;

экспериментальные данные по характеристикам объектов и фонов;

фундаментальные ограничения, к которым можно отнести спектральный диапазон электромагнитного излучения $\Delta\lambda = \Delta\lambda_{\max} - \Delta\lambda_{\min}$, используемый для решения задач мониторинга окружающей среды, солнечную постоянную E_{\odot} (для пассивных систем наблюдения), пространственное разрешение Δx_{\min} , Δy_{\min} , технически реализуемое при заданных условиях построения системы наблюдения и др.

К выходным параметрам отнесем множества полей информативных признаков x_i описывающих соответствующие компоненты фоново-целевой обстановки при фиксированных комплексах условий W_f^m

$$\{L_i^f(x_i/W_f^m)\}_{i \in L_1}^Q, \quad (25)$$

где f — индекс принадлежности; $f = \text{фц}$ — для фоново-целевого, $f = \text{ф}$ — для фонового, $f = \text{ц}$ — для целевого полей, $f = \text{с}$ — для фоновых ситуаций, полученных

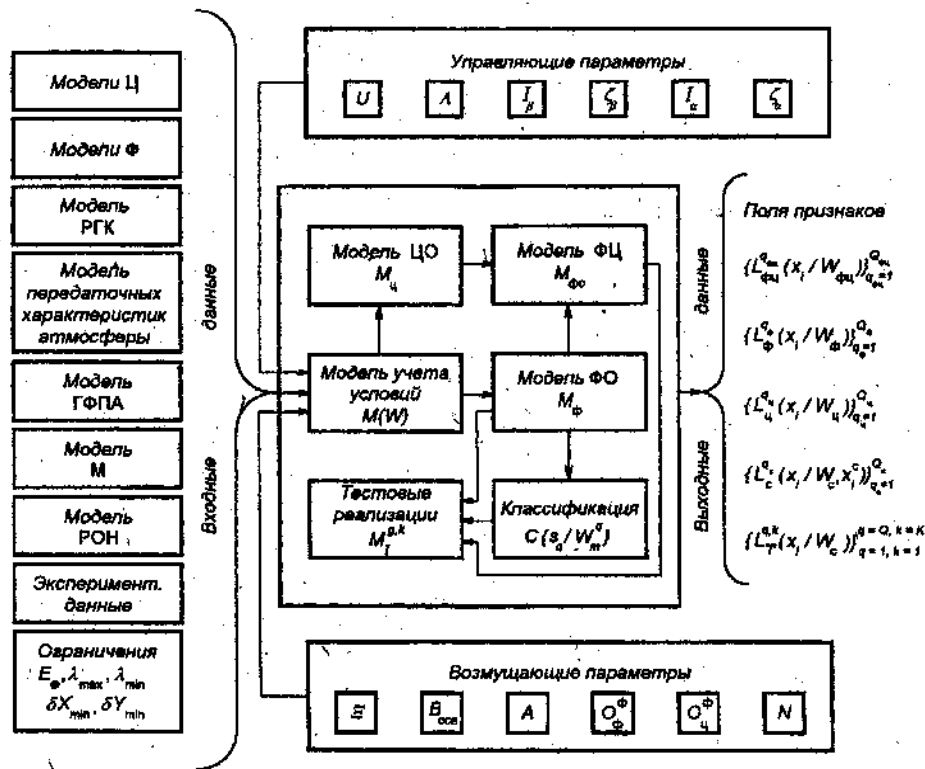


Рис. 2. Обобщенная блок-схема комплексных моделей фоново-целевых обстановок

при классификации, $f = \tau$ — для тестовых реализаций стохастических полей сигналов.

К управляющим параметрам отнесем: характеристики систем наблюдения; параметры аппаратуры; характеристики наземных и бортовых средств обработки; параметры, применяемые при наземной и бортовой обработке информации, описываемые зависимостями (16)—(19).

К возмущающим параметрам отнесем: метеорологические условия (5); условия освещения (облучения) (2), (3); характеристики атмосферы (4); физические свойства объектов $O_{ц}^{\phi}$ и фонов $O_{ф}^{\phi}$; конкретные типы распределения объектов наблюдения — N .

К параметрам состояния отнесем множество промежуточных параметров, используемых в процессе получения реализаций полей сигналов для всех составляющих модели ФЦО.

С использованием предложенного принципа моделирования можно обобщать результаты теоретических и экспериментальных исследований, накапливать базы данных по характеристикам объектов окружающей среды в интересах создания и эксплуатации аэрокосмических систем дистанционного зондирования.

Заключение. Разработаны принципы информационного моделирования полей сигналов от различных объектов окружающей среды, наблюдаемых аэрокосмической аппаратурой дистанционного зондирования. Описание таких сигналов предложено проводить с использованием многомодульного представления на основе входных данных, содержащих энергетические и пространственные характеристики объектов и фонов, региональные географо-климатические модели, модели передаточных характеристик среды распространения, метеорологические и другие модели, экспериментальные данные и фундаментальные ограничения в виде системы взаимодействующих между собой элементов, которыми являются модели

фоновых, целевых и фоново-целевых обстановок, классификация фоновых ситуаций, модель синтеза тестовых реализаций полей сигналов, модель учета условий наблюдения, обеспечивающих выбор оптимальных характеристик средств наблюдения (управляющих параметров) в зависимости от объективных условий (возмущающих параметров). С использованием разработанных принципов моделирования предложена структурная схема моделей фоново-целевых обстановок от объектов мониторинга, на основе которой проводится обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований в интересах создания и эксплуатации аэрокосмических систем мониторинга окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Савин А.И.* Принципы построения космических систем глобального наблюдения // Исслед. Земли из космоса. 1993. № 1. С 49—47.
2. *Бондур В.Г., Савин А.И.* Концепция создания систем мониторинга окружающей среды в экологических и природно-ресурсных целях // Исслед. Земли из космоса. 1992. № 6. С. 70—78
3. *Бондур В.Г.* Принципы построения космической системы мониторинга Земли в экологических и природно-ресурсных целях // Изв. вузов. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка. 1995. № 1—2. С 14—38.
4. *Кондратьев К.Я.* Ключевые проблемы глобальной экологии // Итоги науки и техники. Теоретические и общие вопросы географии. Т. 9. М.: ВИНТИ, 1990. 454 с.
5. *Кронберг П.* Дистанционное изучение Земли: Основы и методы дистанционных исследований в геологии. М.: Мир, 1988. 343 с.
6. Дистанционное зондирование в метеорологии, океанографии и гидрологии / Под ред. А.П. Крэкнелла. М.: Мир, 1984. 535 с.
7. Дистанционное зондирование природных ресурсов из космоса // Тр. ТИИЭР 1985. Т. 73. № 6. 223 с.
8. *Шанда Э.* Физические основы дистанционного зондирования. М.: Недра, 1990. 208 с.
9. *Зуев В.Е.* Распространение лазерного излучения в атмосфере. М.: Сов. радио, 1970. 496 с.
10. *Ш. Матвеев Л.Т.* Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 751 с.
11. *Иванов А. П.* Физические основы гидрооптики. Минск: Наука и техника. 1975. 504 с.
12. *Зуев В.Е., Комаров В.Р.* Современные проблемы атмосферной оптики. Т. 1. Статистические модели температуры и газовых компонент атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 264 с.
13. *Межерис Р.* Лазерное дистанционное зондирование: Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 552 с.
14. *Сколник М.* Введение в технику радиолокационных систем. М.: Мир, 1965. 485 с.
15. *Аржененко Н.И., Бондур В.Г.* Распознавание природных образований по результатам зондирования из космоса // Оптико-метеорологические исследования земной атмосферы. Новосибирск: Наука, 1987. С. 208—217.
16. *Бондур В.Г., Воляк К.И.* Оптический пространственный спектральный анализ изображений морской поверхности. Исследования по гидрофизике // Тр. ФИАН СССР. М.: Наука, 1984. С. 63—78.
17. *Аржененко Н.И., Бондур В.Г.* Классификация облачных форм по пространственным спектрам изображений // Оптика атмосферы. 1988. № 11. С. 38—45.
18. *Харафас Д. И.* Системы и моделирование. М.: Мир, 1967. 312 с.
19. *Седов Л.И.* Методы подобия и размерностей в механике. М.: Наука, 1987. 430 с.
20. *Шеннон Р.* Имитационное моделирование систем. Искусство и наука. М.: Мир, 1978. 418 с.
21. *Бусленко Н.П.* Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1968. 356 с.
22. *Глушков В.М.* Введение в кибернетику. Киев: Изд-во АН УССР, 1964.
23. *Тихонов А.Н.* Математическая модель // Большая советская энциклопедия. М., 1974. Т. 15. С. 480.
24. *Баклашов Н.И., Белонов А.Н., Солодихин Г.Н. и др.* Натурный эксперимент. Информационное обеспечение экспериментальных исследований. М.: Радио и связь, 1982. 304 с.
25. Математическое обеспечение сложного эксперимента. Т. 3. Основы теории математического моделирования сложных радиотехнических систем / Под ред. И. И. Ляшко. Киев: Наук. думка, 1984. 272 с.
26. *Самарский А.А.* Математическое моделирование и вычислительный эксперимент // Вестн. АН СССР. 1979. № 5. С. 38—49.