

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Лега Ю. Г., д.т.н., профессор,
Середенко В. Н., д.т.н., профессор,
Цегельный В. П., аспирант

Черкасский государственный технологический университет
бул. Шевченко, 460, г. Черкасы, Украина, 18006

Анотація. Розглянуто рівні управління технологічних систем. Запропоновано узагальнену форму основного завдання системного аналізу багатофакторних ризиків. Отримано рішення задачі моделювання з ідентифікацією аномальних процесів дифузії. Розглянуто конкретний процес аномальної дифузії з числовими значеннями коефіцієнтів витоків.

Ключові слова: технологічний об'єкт, багатофакторні моделі, дифузія.

THE METHODS OF MODELING OF COMPLEX POWER OBJECTS

Lega Yu. G., Dr.Tech.Sc., professor,
Seredenko V. N., Dr.Tech.Sc., professor,
Cegel'nij V. P., postgraduate

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, Ukraine, 18006

Technological systems' management levels are examined. Generalized form of primary task of multifactor risks' system analysis is offered. The solution of the problem of modeling with identification of diffusion anomalous processes is obtained. The given process of abnormal diffusion with number values of initial datum coefficients is studied.

Keywords: technological object, multifactor models, diffusion.

Эффективное использование сырьевых и энергетических ресурсов и повышение требований к природоохранным мероприятиям на производстве обусловили разработку энергосберегающих и безотходных технологий. Они характеризуются значительным интегрированием происходящих в них процессов. Примерами технологических систем подобного типа являются, например, системы конструкций, связанные сетью теплообменников для регенерации тепла, горячих потоков, абсорбционно-десорбционные процессы и т.д. Сложность рассматриваемых процессов связана с их нелинейностью, сложной геометрией моделирования пространственных областей и границ задач, высокой размерностью результирующих аналогов математической модели.

В процессе функционирования сложной системы на нее влияют новые факторы риска, изменяющиеся во времени свойства и показатели априорно известных факторов. Анализ ситуации и принятия решения обеспечены не только при типичных условиях

четкого распознавания штатного или нештатного режима системы, но и в условиях, когда имеется только нечеткая, неполная информация о ситуации. Такой подход, в условиях нечеткой информации о ситуации, дает возможность в случае необходимости вовремя принять решение об экстренной остановке функционирования системы.

Целью статьи является разработка методических аспектов моделирования работы сложных энергетических объектов. Для таких объектов важным является состояние характеристики некоторых сложных показателей процессов функционирования системы.

Количественные значения определяют: методы оптимизации нелинейных динамических процессов, математическую модель аномального диффузионного процесса и этап расчета пластовых давлений. Значения показателей находят решением общей задачи анализа многофакторных рисков.

1. Отдельные элементы подсистем технологических объектов. Рассмотрим отдельные технологические конструкции. В

этом случае очевидно естественное разбиение технологических систем. Преставление технологической системы в декомпозированном виде позволяет упростить алгоритмы расчета, которые во многом усложняются большой размерностью модели [1]. Пусть каждая подсистема описывается обобщенной математической моделью следующего вида:

$$\begin{aligned} X^i &= F_i(X_z^i, X_{zz}^i, X^i, d_i, y_i, \theta_i, t), x_i(0) = x_{i0}, \\ X_{\Omega}^i &= \varphi_i(t), z \in \Omega, t = (0, t_K), \\ R_i(d_i, X_z^i, X_{zz}^i, X^i, u_i, y_i, \theta_i) &\leq 0, \\ \Gamma_i(d_i, X_z^i, X_{zz}^i, X^i, u_i, y_i, \theta_i) &\leq 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где i – номер подсистемы ($i = \overline{1, N}$), X_i – вектор состояния i подсистемы, определенный на пространственном временном цилиндре $Q = \Omega \times (0, t_K)$; здесь u_i – вектор управления i -й подсистемы; R_i, Γ_i – векторная функция ограничений, наложенных на подсистему в каждый момент времени. Кроме того, F_i – вектор функция правых частей дифференциальных уравнений; d_i – вектор параметров, характеризующих режимы работы оборудования; y_i – вектор входов подсистемы, являющийся комбинацией выходов других подсистем; θ_i – вектор возмущений, действующих на подсистему; $X_i = \frac{\partial X_i}{\partial t}, X_z^i = \frac{\partial X_i}{\partial z}, X_{zz}^i = \frac{\partial^2 X_i}{\partial z^2}$.

Взаимодействие подсистемы описывается с помощью матрицы связей с подматрицами L_{ij} так, что

$$y_i = \sum_{j=1}^N L_{ij} X_j. \quad (2)$$

Таким образом, (1) и (2) возьмём в качестве математического описания технологической системы, состоящей из N подсистем.

Далее рассмотрим уровни управления технологической системы и предоставим математическую формулировку задач управления каждого уровня. Важным этапом синтеза управления технологической системы является синтез возмущений. Их частота и амплитуда существенно влияют на решение задач управления и обуславливают ее иерархию.

На первом уровне управления происходит стабилизация подсистем и отдельных элементов подсистем технологической системы. Математически эта задача формулируется как задача оптимизации, например, квадратичного вида

$$I_l = \int_0^{T_k} (\|\Delta X\|_s^2 + \|\Delta u\|_R^2) dt, \quad (3)$$

где $\|\Delta u\|_A^2$ – квадратичная форма $u^T A u$; ΔX – вектор отклонений состояния от заданного значения; Δu – вектор отклонения управления от установившегося значения; s, R – положительно-определенная матрица, как правило, диагонального вида.

Для управления технологическими системами характерны задачи оптимизации статических моделей с целевой функцией линейного типа, которая имеет экономическое обоснование. Критерий оптимизации запишем в общем виде следующим образом:

$$I_{II} = \sum_j C_j \Pi_j - \sum_l C_l b_l, \quad (4)$$

где C_j – цена j вида продукции; $C_l b_l$ – себестоимость l -го вида сырья; Π_j – количество произведенной продукции j -го типа; C_l – количество затраченного сырья l -го вида.

Возмущение этого уровня изменяется медленнее, чем возмущение стабилизации экономической системы, и имеет как детерминированный, так и стохастический характер. Это изменение параметров окружающей среды, изменение физических характеристик конструкций в процессе функционирования и т. д.

2. Метод оптимизации нелинейных динамических процессов. В этом разделе используются результаты Беллмана с реализацией авторами [2]. Развитие идей Мерриэма и Беллмана здесь будет происходить лишь в той мере, чтобы распространить их на нелинейные процессы высокого порядка с уравнением вида

$$\dot{x} = f(x, z, u, \lambda, t), t_0 \leq t \leq T, \text{ н.у.} = x(t_0), \quad (5)$$

$$\dot{z} = F(x, z, u, \lambda, t), t_0 \leq t \leq T, \text{ н.у.} = z(t_0). \quad (6)$$

Уравнения (5) и (6) образуют систему $(n + q)$ -го порядка для $(n + q)$ -го вектора состояний (x, z) , состоящую из n – мерного вектора x и q – мерного вектора z . Вектор управляющего воздействия u является m – мерным, терминальное время T фиксировано, неотрицательный скалярный параметр λ ограничен условием $\lambda \in [0, \lambda_{max}]$.

Качество динамического процесса (5) и (6) оценивается интегральным функционалом

$$I = \int_{t_0}^T f^0(x, z, u, t) dt, \quad (7)$$

где f^0 – скалярная функция при заданном ограничении на вектор управляющего воздействия.

$$u^-(t) \leq u(t, \lambda) \leq u^+(t), t_0 \leq t \leq T. \quad (8)$$

Для построения математической модели оптимизации нелинейного процесса высокого порядка с учетом вектора (x, z) требуется минимизировать интегральный функционал качества. Кроме того, по результатам минимизации необходимо синтезировать оптимальную систему. Математическая модель оптимизации нелинейных процессов высокого порядка создается на сжатом (по амплитуде и времени) пространстве управления путем перехода от расширенного уравнения Беллмана к вырожденному. Это возможно согласно результату внедрения в динамическое программирование метода малого параметра. Тогда гарантируется сходимость решения расширенного уравнения Беллмана к вырожденному.

С целью реализации оптимального управления ресурсами коммутационной сети математическая модель оптимизации ее переходных процессов построена на основе функции Лагранжа. При этом эффективность использования ресурсов коммутационной сети характеризуется критерием суммарного времени задержки информации в сети, а сама сеть представлена математической моделью в виде замкнутой системы с регулятором в контуре отрицательной обратной связи. Функция Лагранжа F , критерий качества I , который минимизируется, и условия оптимальности определяют следующую математическую модель оптимизации переходных процессов в коммутационной сети узловой топологии:

$$F(x, u, \psi, \gamma, t) = \sum_j \sum_{i \neq j} \alpha_{i,j} x_i^j(t) + \sum_j \sum_{i \neq j} \psi_i^j \left[\lambda_i^j(t) + \sum_{\ell \in I(i)} y_{\ell,i}^j(t) - \sum_{k \in E(i)} u_{i,k}^j(t) - \dot{x}_i^j(t) \right] + \sum_j \sum_{i \neq j} \gamma_i^j x_i^j(t), \quad (9)$$

$$I = \int_{t_0}^{t_N} F(x, u, \psi, \gamma, t) dt \rightarrow \min, \quad (10)$$

$$\begin{cases} F(x, u^*, \psi, \gamma, t) = \min_{u_{i,k}^j \in U_{i,k}} F(x, u, \psi, \gamma, t), \\ \frac{\partial F}{\partial \psi_i^j} = 0, \quad x_i^j(t) \Big|_{t=t_0} = x_i^j(t_0), \\ \frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial F}{\partial \dot{x}_i^j} = \frac{\partial F}{\partial x_i^j}, \quad \left[\frac{\partial F}{\partial \dot{x}_i^j} \right]_{t=t_N} = 0, \\ \gamma_i^j(t) x_i^j(t) = 0, \quad \gamma_i^j(t) \leq 0, \end{cases} \quad (11)$$

где

$$U_{i,k} = \left\{ u_{i,k}^j \geq 0, \sum_{j \neq i} u_{i,k}^j \leq C_{i,k} \right\}, \quad (12)$$

$x_i^j(t)$ – поток заявок в i -м узле, который адресован j -му узлу; $u_{i,k}^j$ – интенсивность потока обслуживания заявок в направлении линии связи (i, k) , адресованных j -му узлу; ψ_i^j , γ_i^j , – множители Лагранжа; $\alpha_{i,j} \geq 0$ – коэффициент приоритетности; $\lambda_i^j(t)$ – интенсивность потока заявок, переданных из внешних абонентов i -му узлу и адресованных j -му узлу; $y_{\ell,i}^j(t) = u_{\ell,i}^j(t)$ – интенсивность потока обслуживания заявок, переданных по линии связи (ℓ, i) и адресованных j -му узлу; $\dot{x}_i^j(t)$ – результирующая интенсивность потока заявок в i -м узле, адресованных j -му узлу; $C_{i,k}$ – пропускная способность линии связи (i, k) ; $U_{i,k}$ – допустимое множество значений $u_{i,k}^j$; $j \neq i = 1, 2, \dots, M$ – конечное число узлов коммутационной сети.

3. Компьютерно-ориентированные средства моделирования сложных энергетических объектов. Здесь рассматриваются многофакторные прогнозирующие модели, выражающие изменение показателя для оперативного управления объектами строительства. Такой показатель важен для современной экономической ситуации в Украине, которая является неустойчивой. Следует считать, что это обусловлено рядом причин. Имеет место [3] невыполнение договоров на поставку материально-технических ресурсов и оборудования, повышение рыночных цен на них, недополучение средств от государства и др. В частности, современное строительство сложных энергетических объектов характеризуется недостаточным и ненадежным финансированием.

Все это приводит к появлению разнообразных рисков в процессе строительства сложных энергетических объектов, которые трудно прогнозируются и чаще всего имеют стохастическую природу. Наиболее существенным источником появления рисков и неопределенности при строительстве является сложность этих проектов, большое количество работ, наличие различных вариантов технологии выполнения работ.

Рассмотрим согласно [4, 5] обобщенную форму основной задачи системного анализа многофакторных рисков. Согласно испыта-

нию сложной системы множество G_0 факторов риска ρ_q в виде

$$G_0 = \{\rho_q | q = \overline{1, n_0}\}. \quad (13)$$

Каждый фактор риска $\rho_q \in G_0$ характеризует множество F_q признаков l_{qj} :

$$F_q = \{l_{qj} | q \in N_0; j = \overline{1, n_q}\}, N_0 = [1, n_0]. \quad (14)$$

Каждый признак $l_{qi} \in F_q$ определяет информационный вектор

$$I_{qi} = \{x_{qj} | x_{qj} = \langle x_{qjp} | p = \overline{1, n_{qj}} \rangle; x_{qjp} \in H_{qjp}; q \in N_0; j \in N_q\}, \quad (15)$$

$$H_{qjp} = \{x_{qjp} | x_{qjp}^- \leq x_{qjp} \leq x_{qjp}^+, N_q = [1, n_q]\}. \quad (16)$$

На основе множества F_q для каждого фактора риска ρ_q формируют информационный вектор

$$I_q = \{l_{qj} | q \in N_0, j = \overline{1, n_q}\}, \quad (17)$$

$I_q = \{x_{qj} | x_{qj} = \langle x_{qjp} | p = \overline{1, n_{qj}} \rangle; x_{qjp} \in H_{qjp}; q \in N_0; j \in n_q\}$, (18)
множество G_0 соответствует определенной априорно прогнозируемой S_0 ситуации.

В процессе функционирования сложной системы на нее влияют новые факторы риска, изменяются во времени свойства и показатели априорно известных факторов риска $\rho_q \in G_0$. Это обуславливает количественную и качественную смену множества факторов риска, а следовательно, необходимость формирования последовательности вложенных множеств вида

$$G_0 \subset G_1 \subset \dots \subset G_\tau, \dots, \\ S_0 \subset S_1 \subset \dots \subset S_\tau, \dots \quad (19)$$

Здесь G_τ, S_τ – множество факторов риска и множество ситуаций риска соответственно в момент $T_\tau \in T^\pm$; $T^\pm$ – задан или прогнозируемое время функционирования сложной системы. Множества G_τ, S_τ определяют в форме

$$G_\tau = \{\rho_q | q = \overline{1, n_\tau}\}; S_\tau = \{S_k | k = \overline{1, K_\tau}\}. \quad (20)$$

Дополним информацию о факторах риска и уточним формирование решения, ориентированного на предотвращение нежелательных воздействий исследуемых факторов риска. Время формирования решения ограничено, поскольку множество G_τ содержит подмножество $\tilde{G}_k^\tau$ факторов с пороговым механизмом

действия. В случае достижения одним или несколькими факторами $\rho_{\tilde{e}_k}^\tau \in \tilde{G}_k^\tau$ порогового уровня в некоторый, априорно неизвестный, критический момент времени T_{qr} имеют место нежелательные последствия в виде аварий, катастроф или экологических бедствий.

Необходимо в процессе управления функционированием сложной системы в реальном масштабе времени для заданных моментов T_τ или с определенным интервалом моментов $\tilde{T}_\tau \in T_\tau^\pm$, где $T_\tau^\pm = \{\tilde{T}_\tau | T_\tau < \tilde{T}_\tau < T_{\tau+1}\}$, выполнить многофакторную оценку риска появления какой-либо ситуации $S_k^\tau \in S_\tau$ и на основании полученных результатов сформировать и реализовать решения по предотвращению или минимизации риска нежелательных последствий до наступления критического момента T_{qr} .

Рассмотрим определение ресурсов допустимого риска внештатного режима сложной системы. Известна последовательность вложенных множеств (19) за определенный период диагностирования $T_r^\pm = [T_r^-, T_r^+]$ сложной системы. В каждый момент диагностирования $T_\tau \in T^\pm$; $\tau = \overline{1, n_\tau}$ для каждой ситуации $S_k^\tau \in S_\tau$ известно множество G_k^τ факторов риска в форме (20). Все множества $G_k^\tau, k = \overline{1, K_\tau}$ содержат подмножества $\tilde{G}_k^\tau$, элементы которых не принадлежат множеству G_0 , нечеткие информационные векторы $I_k^\tau, k = \overline{1, K_\tau}$ и их компоненты для всех факторов множеств $G_k^\tau, k = \overline{1, K_\tau}$, числовые значения степени η_{qk}^τ и уровня W_{qk}^τ риска, при известных значениях компонент вектора I_k^τ .

Следует определить и обеспечить рациональное согласование ресурсов допустимого риска внештатных, критических, чрезвычайных, аварийных и катастрофических ситуаций на прогнозируемый период эксплуатации сложной системы $T_r^\pm = [T_r^-, T_r^+]$, когда $T_{r+1}^+ \geq T_r^+, T_{r+1}^+ > T_{r+1}^-$.

Сформулированные задачи позволяют анализировать риски в процессе изменения уровня информированности лица, принимающего решение (ЛПР). Этот уровень характеризуется интегральным уровнем информированности, который является функцией от-

дельных показателей, а именно: полноты, достоверности и своевременной информированности [6]. Однако в приведенных формулировках задач учтена зависимость интегрального показателя информированности ЛПР от времени. Этот показатель имеет сложную зависимость от времени, а показатель своевременности – убывающую функцию времени с пороговым ограничением. Пороговое ограничение принципиально неустранимо, что обусловлено наличием в процессе изменения ситуаций риска критического момента времени T_{qr} в наступающей аварийной или катастрофической ситуации. Отсюда следует, что решение по предотвращению нежелательных последствий следует формировать, принимать и реализовывать вовремя, до критического

момента. Иначе любое, даже самое лучшее решение будет не нужно.

Указанные обстоятельства обуславливают актуальность и практическую значимость исследования ситуаций рисков с пороговым ограничением времени на формирование и реализацию решения.

В качестве реализации сложных энергетических объектов авторами [7] предложено решение систем задач моделирования и идентификации аномальных процессов диффузии. Кроме поставленных задач, выполнено большую часть программных объектов и нестандартных вычислительных методов.

Предложенная обобщенная математическая модель [8] аномального диффузионного процесса будет иметь вид

$$\left[m(z) \frac{\partial \Phi(t, z)}{\partial t}, v(t, z) - \Phi(t, z) \right] + [B(\gamma) \Phi(t - \alpha_{di}, z), v(t - \alpha_{di}, z) - \Phi(t - \alpha_{di}, z)] \quad (21)$$

$$+ P[v(t - \alpha_{di}, z)] + P[\psi(t - \alpha_{di}, z)] \geq [f, v(t - \alpha_{di}, z) - \Phi(t - \alpha_{di}, z)],$$

$$\left[m(z) \frac{\partial \Phi(t, z)}{\partial t} \right] + [B(\gamma) \Phi(t - \alpha_{di}, z)] = [f, B(\gamma) \Phi(t - \alpha_{di}, z)] \quad (22)$$

$$\Phi_y(t, z_l) = \phi[\Phi(t, z_l), \Phi(t - \alpha_{di}, z)], l = \overline{1, K_1}, \quad (23)$$

$$\Phi(t, z_l) = \Psi(t, z_l), -\alpha_{dl_{\max}} \leq t \leq 0, \quad (24)$$

$$\Phi(0, z) = \Phi_0(z), \quad (25)$$

$$\frac{\partial \Phi(t, z)}{\partial \eta} = \xi(t, z), \quad (26)$$

где $m(z)$ – пористость среды в точке z области Ω ;

$\Phi(t, z)$ – искомая функция, что представляет собой физическую величину, определяющую пространство состояний аномального процесса диффузии;

$v(t, z)$ – пробная функция;

$B(\gamma)$ – оператор, задающий линейное преобразование $B(\gamma): H^1(\Omega) \rightarrow H^1(\Omega)$, определённый билинейной формой

$$(B(\gamma)\Phi, v - \Phi) = k(z) \int_{\Omega} \left(\sum_{i=1}^n \beta \frac{\partial \Phi}{\partial z_i} \frac{\partial (v - \psi)}{z_i} \right) dz;$$

$P(\cdot)$ – выпуклые функционалы, задающие вид нелинейного процесса;

α_{di}, β_{di} – соответственно, запаздывание по координатам пространства состояний и управлению;

$\Phi(t, z_l)$ – наблюдаемые значения для функции состояний.

В постановке задачи вида (21)–(26) выражение (21) определяет динамику аномального диффузионного процесса. Используя программный объект [7], разработанный на платформе проблемно-ориентированного пакета MATLAB, формализируем задачу исследования практического процесса аномальной диффузии в виде конкретной математической модели с числовыми значениями коэффициентов исходных:

№	$\bar{m}(z)$	$m(z)$	$\bar{k}(z)$	$k(z)$
1	12,8	12,5	5,41	5,26
2	11,6	11,4	4,83	4,68
3	12,4	12,5	5,16	5,3
4	12,3	12,1	4,92	4,76
5	10,7	10,4	3,77	3,61
6	10,8	10,6	3,9	3,75
7	11,4	11,3	4,23	4,16
8	11,5	11,4	4,58	4,46
9	11,5	11,4	4,61	4,53
10	10,7	10,6	3,56	3,51
11	10,6	10,5	3,54	5,52

12	10,8	10,6	3,71	7,69
13	10,8	10,7	3,88	3,89
180	6,9	7,1	2,16	2,17
181	7,3	7,2	2,59	2,55
182	7,1	7	2,25	2,23
183	6,1	6	1,38	1,36
184	6,2	6,1	1,54	1,53
185	6,3	6,1	1,67	1,68
186	6,4	6,2	1,93	1,94
187	7,1	6,8	2,14	2,06
188	6,3	6,2	1,76	1,69
189	6,4	6,1	1,81	1,77
190	6,5	6,4	1,97	1,93
191	7,1	6,8	2,07	2,01
192	6,8	6,7	1,96	1,93

Анализ показывает, что лучшая сходимость достигается в зонах узлов сетки дискретизации. Это объясняется влиянием источников на результаты измерений. При этом наименьшее значение погрешности достигается в центральной области моделирования Ω . В периферийных зонах области моделирования погрешности достигают значений 2,7 %, но не превышают заданных значений. Наименьшую точность идентификации имеют граничные точки области моделирования, что объясняется влиянием граничных условий.

4. Структура программного комплекса. Разработанные компьютерные средства являются пользовательскими приложениями, созданными на платформе проблемно-ориентированного пакета MATLAB.

I. Задание структуры математической модели исследуемого процесса. Структура математической модели будет определяться видом дифференциального уравнения с учетом сведения исходной задачи на вариационное неравенство к эквивалентному виду, описывающему конкретный аномальный процесс диффузии.

Задание типа решаемой задачи – стационарный или нестационарный – осуществляется в режиме «Тип уравнения». Данный режим позволяет выбрать один из альтернативных вариантов: стационарный или нестационарный.

II. Этап задания геометрии области моделирования. Область моделирования задается по принципу конструктивной оболочки геометрии. При этом плоская ограниченная

область является объединением, пересечением или разностью геометрических примитивов типовых областей. Были приняты следующие:

- прямоугольник, построение которого осуществляется из произвольного угла;
- прямоугольник, построение которого осуществляется из центра;
- эллипс, построение которого осуществляется от угла прямоугольной рамки, в которую вписан формируемый эллипс;
- эллипс, построение которого осуществляется из центра;
- многоугольник, в частном случае это может быть треугольник.

III. Задание параметров математической модели, граничных и начальных условий. Коэффициенты математической модели задаются в режиме «Параметры модели». Параметры в зависимости от конкретной решаемой физической задачи могут быть установлены как постоянные и переменные коэффициенты левых частей дифференциальных уравнений. При этом коэффициенты могут быть заданы однотипными как по всей области моделирования, так и в отдельных локальных областях.

Исходя из физики решаемых задач, диффузии аномальных процессов, возможными типами граничных условий для них являются: задание функции потенциала на границе, наличие потока через границу или комбинация первых двух случаев. Таким образом, в программном комплексе реализованы граничные условия типа Дирихле и Неймана.

IV. Формирование управляющих воздействий. Задание параметров управляющих воздействий в автоматизированном комплексе осуществляется в режиме «Контроль». Данный режим инициализирует для отдельного параболического уравнения или системы параболических уравнений. Во втором случае задание управляющих воздействий выполняется отдельно для каждого из уравнений системы.

V. Организация вывода результатов решения задачи. Основной формой вывода результатов являются оцифрованные массивы и графики. Предусмотрена также возможность вывода решения в виде световых панелей для качественного анализа получаемых решений. Графики в основном используются для отображения решений в локальных точках. Оцифрованные массивы представляют результаты как для локальных точек, так и для пространственных областей.

Алгоритм решения задачи моделирования динамики двухкомпонентных несмещающихся систем. Совместная фильтрация аномальной и идеальной жидкостей осуществляется по методу последовательного решения уравнения динамики. Алгоритм для функции пластового давления и водонасыщенности сформулируем следующим образом:

1. Этап расчета пластовых давлений

1. Определение шага времени $t = 1$.
2. Задание исходных значений: $P_{w,r}^0, v_{w,r}^0, m_{w,r}^0$.
3. Определение значений k_{1r}^1, k_{2r}^1 .
4. Формирование расширенной математической модели динамики с учетом дополнительной координаты $\sigma_{w,r}^0$ и составление функции Гамильтона.
5. Определение пробной функции $v_{w,r}^1$, доставляющей максимум функции Гамильтона, с помощью решения систем уравнений.
6. Решение уравнений динамики – определение поля значений $P_{w,r}^1$ (первая итерация).
7. Формирование и выведение итогового поля пластового давления $P_{w,r}^1$.
8. Определение значений $k_{1r}^{m+1}, k_{2r}^{m+1}$ в уравнениях.
9. Формирование расширенной математической модели динамики с учетом дополнительной координаты $\sigma_{w,r}^0$ и составление функции Гамильтона.
10. Запись условия максимума функции Гамильтона.
11. Определение пробной функции $v_{w,r}^{m+1}$, доставляющей максимум функции Гамильтона, с помощью решения систем уравнений.
12. Решение уравнений динамики – определение поля значений $P_{w,r}^{m+1}$ (первая итерация).
13. Формирование и выведение итогового поля пластовых давлений $P_{w,r}^1$.

2. Этапы расчета водонасыщенности

14. Решение уравнения динамики – определение поля значений S_{2r}^1, S_{2r}^{m+1} (первая итерация).
15. Организация итерационного процесса до достижения заданной точности δ_{S_2} .
16. Формирование и выведение итогового поля водонасыщенности S_{2r}^1, S_{2r}^{m+1} .

17. Проверка условия $t = M$. Если $t < M$, то $t = t + 1$.

18. В заключение получено итоговое поле водонасыщенности S_{2r}^1, S_{2r}^{m+1} .

Выводы. Проведено моделирование работы сложных энергетических объектов, где каждое состояние объекта характеризуется определенными показателями процессов функционирования системы, влияния внешней среды и факторов риска. Предложены отдельные элементы подсистем технологических объектов с использованием метода оптимизации нелинейных динамических процессов. Получены компьютерно-ориентированные средства моделирования сложных энергетических объектов. Приведены этапы расчета пластовых давлений для построения больших компьютерных систем.

Список литературы

1. Згуровский М. З. Интегрированные системы оптимального управления и проектирования : [учеб. пособие для техн. вузов по спец. "Прикл. математика", "Автоматика и управление в техн. системах"]. – К. : Вища шк., 1990.
2. Лега Ю. Г. Теория и применение математических моделей и методов непрерывно-дискретной оптимизации на основе обратной связи / Ю. Г. Лега, А. А. Златкин. – К. : Наук. думка, 2002. – 275 с.
3. Середенко В. М. Підхід до моделювання бюджетних ризиків складних енергетичних об'єктів будівництва / В. М. Середенко, О. М. Донець, В. П. Цегельний // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2013. – № 2. – С. 77–80. – (Серія : технічні науки).
4. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа / Н. Н. Моисеев. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1981. – 488 с.
5. Згуровський М. З. Основи системного аналізу / М. З. Згуровський, Н. Д. Панкратова. – К. : Видавнича група БНУ, 2007. – 544 с.
6. Панкратова Н. Д. Концептуальные основы системного анализа рисков в динамике управления безопасностью сложных систем. Часть II. Общая задача системного анализа рисков и стратегия ее решения / Н. Д. Панкратова, Б. И. Курилин // Проблемы управления и информатики. – 2001. – № 2. – С. 108–126.

7. Середенко В. М. Математично-комп'ютерне моделювання та інтелектуалізація прикладних задач / В. М. Середенко, В. П. Цегельний // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2012. – № 3. – С. 66–68. – (Серія : технічні науки).
8. Верлань А. Ф. Математическое моделирование аномальных диффузионных процессов / Верлань А. Ф., Положаенко С. А., Сербов Н. Г. – К. : Наукова думка, 2011. – 416 с.
1. Zgurovskij, M. Z. (1990) Integrated systems of optimal management and design. Kiev: Vyshcha shk. [in Russian]
2. Lega, Uy. G. and Zlatkin, A. A. (2002) The theory and application of mathematical models and methods of discrete-continuous optimization on the basis of feedback. Kiev: Nauk. dumka, 275 p. [in Russian]
3. Seredenko, V. M., Donets, O. M. and Cegelnij V. P (2013) The approach to modeling of budget risks of complex energy construction objects. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitety*, (2), pp. 77–80. [in Ukrainian]
4. Moiseev, N. N. (1981) Mathematical problems of system analysis. Moscow: Nauka. Hlavnaya redaktsyya fizyko-matematicheskoy literatury, 488 p. [in Russian]
5. Zgurovskij, M. Z. and Pankratova, N. D. (2007) Fundamentals of systems analysis. Kiev: Vydavnycha hrupa BHV, 544 p. [in Ukrainian]
6. Pankratova, N. D. and Kurilin, B. I. (2001) Conceptual foundations of system risk analysis in the dynamics of the management by complex systems safety. Part II. The overall objective of system risk analysis and the strategy for its solution. *Problemy upravleniya i informatiki*, (2), pp. 108–126. [in Russian]
7. Seredenko, V. M. and Cegelnij, V. P. (2012) Mathematical and computer modeling and intellectualization of applications. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitety*, (3), pp. 66–68. [in Ukrainian]
8. Verlan', A. F., Polozhaenko, S. A. and Serbov, N. G. (2011) Mathematical modeling of anomalous diffusion processes. Kiev: Naukova dumka, 416 p. [in Russian]

References