

«Нарзан-2015»

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

УДК 50; 556.3

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ГИДРОЛИТОСФЕРНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Г.Е. ВЕСЕЛОВ, М.И. ПЕРШИН

*Южный федеральный университет, Институт компьютерных технологий и информационной безопасности
347900, Россия, г. Таганрог, ул. Чехова, 2; e-mail: gev@sfedu.ru; maksimpershin@bkmail.ru*

Рассмотрена проблема проектирования систем управления гидrolитосферными процессами. Многие гидrolитосферные процессы описываются уравнениями в частных производных, математические модели которых не имеют аналитического решения. Для оценки динамических характеристик рассматриваемых объектов обычно используют аппроксимационные модели. На примере Архызского месторождения подземных вод показана методика определения параметров аппроксимационной модели. Приведены основные этапы проектирования рассматриваемых систем: выбор числа добывающих скважин; построения аппроксимационных моделей; адаптация методики синтеза распределённых систем управления для случая использования нестандартных аппроксимационных моделей; решение задачи синтеза распределённой системы управления гидrolитосферными процессами рассматриваемого месторождения; дискретная форма записи алгоритма управления рассматриваемым процессом; моделирование работы замкнутой системы управления гидrolитосферными процессами.

Ключевые слова: распределённые объекты; аппроксимация; передаточные функции; синтез распределённых регуляторов.

DESIGN OF THE DISTRIBUTED CONTROL SYSTEMS
OF HYDROLITHOSPHERE PROCESSES

G.E. VESELOV, M.I. PERSHIN

*Southern Federal University; Institute of Computer Technology and Information Security
347900, Russia, Taganrog, Chekhov street, 2; e-mail: gev@sfedu.ru; maksimpershin@bkmail.ru*

The important problem of designing of control systems for the hydrolithosphere processes is considered. Many hydrolithosphere processes are known to be described by partial differential equations (belonging to the class of distributed objects), which mathematical models do not have analytical solutions. To assess the dynamic characteristics of the objects under consideration the approximation models are usually used. The method for determining the parameters of the approximation model is shown on the example of Arkhyz groundwater deposit. Main stages of the design of the systems under consideration are shown: the choice of the number of development wells; the construction of approximation models; adaptation of methods of synthesis of distributed control systems for the case of using the non-standard approximation models; the solution of the problem of synthesis of distributed control system of hydrolithosphere processes for a given deposit; the discrete form of the algorithm controlling the process; simulation of the closed-loop control system for the hydrolithosphere processes.

Key words: distributed objects; approximation; transfer functions; synthesis distributed controllers.

Основные этапы проектирования систем управления гидrolитосферными процессами рассмотрим на примере Архызского месторождения подземных вод.

Рассматриваемое месторождение пресных питьевых вод расположено по левому борту р. Зеленчук [2] (рис. 1, 2). Водоупорные отложения разделяют

$$\frac{h(x, y, z)}{k_{1,x} \frac{h_1(x, y, z)}{x^2} + k_{1,y} \frac{h_1(x, y, z)}{y^2} + k_{1,z} \frac{h_1(x, y, z)}{z_1^2}};$$

$$0 < x < L_x; \quad 0 < y < L_y; \quad 0 < z < L_{z_1};$$

$$\frac{H_2(x, y, z)}{k_{2,x} \frac{H_2(x, y, z)}{x^2} + k_{2,y} \frac{H_2(x, y, z)}{y^2} + k_{2,z} \frac{H_2(x, y, z)}{z_2^2}};$$

$$F_{2,x} \frac{H_2(x, y, z)}{x} - V_1(y_{2,j}, z_{0,j}, y_{0,j}, z_{0,j});$$

$$0 < x < L_x; \quad 0 < y < L_y; \quad L_{z_1} < z < L_{z_2};$$

где h_1 — напор в горизонте грунтовых вод; H_2 — напор в изучаемом водоносном горизонте; $V_1(y_{2,j}, z_{0,j}, y_{0,j}, z_{0,j})$ — понижение напора, вызванное воздействием j -ой добывающей скважины (в рассматриваемом случае $j = 1, 2, \dots$); $f(x_{0,j}, y_{0,j}, z_{0,j})$ — функция, равная единице, если $x = x_{0,j}$, $y = y_{0,j}$, $z = z_{0,j}$; $(x_{0,j}, y_{0,j}, z_{0,j})$ — координаты расположения добывающих скважин; $k_{1,x}$, $k_{1,y}$, $k_{1,z}$ — коэффициенты фильтрации по пространственным координатам в горизонте грунтовых вод ($i=1$) и пласта ($i=2$); α_2 — упругоёмкость пласта; $F_{2,x}$ — скорость течения водоносном горизонте (в рассматриваемом месторождении она равна 1,5 м/ч); x, y, z — пространственные координаты; t — время.

Граничные условия между пластами задаются в виде (условия Дарси):

Грунтовые воды — пласт:

$$h_1(x, y, L_{z_1}) = h_1(x, y, L_{z_2});$$

$$b_1 (H_2(x, y, 0) - h_1(x, y, L_{z_1})),$$

толщу на два самостоятельных горизонта. Между горизонтами отмечается существенная разница в статических напорах.

Математическая модель гидrolитосферных процессов Архызского месторождения подземных вод записывается в виде [1, 2]:

$$H_2(x, y, 0) = H_2(x, y, 0);$$

$$b_1 (H_2(x, y, 0) - h_1(x, y, L_{z_1})),$$

$$H_2(x, y, L_{z_2}) / z = 0.$$

Боковые грани:

$$h_1(0, y, z) = h_{1,0}; \quad H_2(0, y, z) = H_{2,0};$$

$$h_1(L_x, y, z) / x = 0; \quad H_2(L_x, y, z) / x = 0;$$

$$h_1(x, 0, z) / y = h_1(x, L_y, z) / y = 0;$$

$$H_2(x, 0, z) / y = H_2(x, L_y, z) / y = 0;$$

где $h_{1,0}$, $H_{2,0}$ — начальные состояния невозмущённых грунтовых вод и пластов.

Для оценки динамических характеристик рассматриваемого объекта составим дискретную модель. Входным воздействием на объект управления служит функция $U_j(t)$, которая связана с функцией $V_1(y_{2,j}, z_{0,j}, y_{0,j}, z_{0,j})$ следующим соотношением [1, 7, 9]:

$$V_1(y_j, z_j) = 0,001 \cdot U_j, \quad (j = 1, 2, \dots).$$

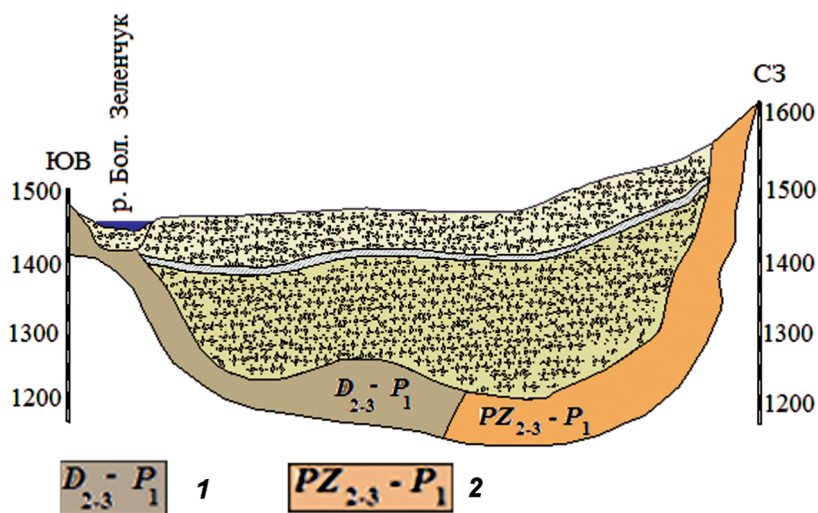


Рис. 1. Геологический разрез Архызского месторождения подземных вод: 1 — комплекс водоносно-водоупорных терригенных отложений каменноугольной и пермской систем: конгломераты, гравелиты, песчанники, аргиллиты; 2 — водоносный горизонт голоценовых и верхнеплейстоценовых пролювиальных отложений конусов выноса: глыбы, щебень, суглинков

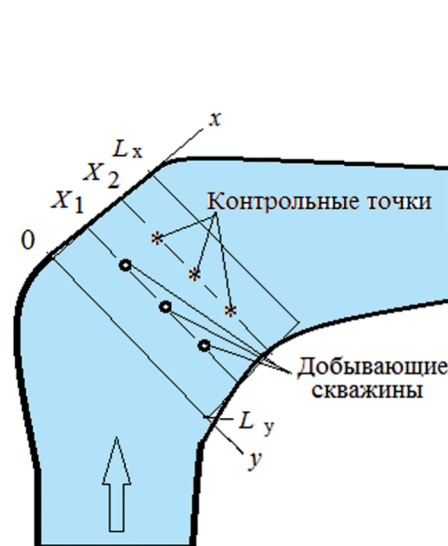


Рис. 2. Архызское месторождение подземных вод в плане

Функцией выхода служит изменение уровня понижения давления в контрольных точках. Расстояние от добывающих скважин до контрольных точек составляет 50 м.

Геометрические данные месторождения приведены в таблице (значения параметров заданы в системе СИ).

Геометрические данные					
L_x	L_y	Lz_1	Lz_2	X_1	X_2
350	200	60	200	150	200

Добывающие скважины и контрольные точки располагаются на глубине $z = z_{0,j} = 160$ м.

$$(x_{0,j} = X_1, y_{0,1} = 50 \text{ м}, y_{0,2} = 100 \text{ м}, y_{0,3} = 150 \text{ м}).$$

Для грунтовых вод:

$$k_{1,x} = 0,252 \text{ м/сут.}, k_{1,y} = 0,252 \text{ м/сут.}, k_{1,z} = 0,29 \text{ м/сут.},$$

$$h_{1,0} = z \text{ (} 60 \geq z \geq 0 \text{)}.$$

$$\text{Для рассматриваемого пласта } k_{2,x} = 0,22 \text{ м/сут.}, k_{2,y} = 0,22 \text{ м/сут.}, k_{2,z} = 0,022 \text{ м/сут.},$$

$$b_1 = 0,00005 \text{ сут.}^{-1}, \eta_2 = 0,0016 \text{ л/м.},$$

$$H_{2,0} = 220 \text{ м.}$$

Методика проведения численных исследований описана в [1, 3, 5, 10–12].

Определение числа добывающих скважин

При выходе на квазистационарный режим понижение уровня в i -м каптанажном сооружении (контрольной скважине) определяется суммой влияний добывающих скважин и питающей границы [1–3]:

$$\begin{aligned} H_i = & \frac{Q_i}{4\pi km} \ln \left(\frac{2,25 \cdot a^* \cdot \tau}{r_i^2} \right) + \\ & + \sum_{j=1, j \neq i}^n \frac{Q_j}{4\pi km} \ln \left(\frac{2,25 \cdot a^* \cdot \tau}{\rho_{ij}^2} \right) - \\ & - \sum_{j=1}^n \frac{Q_j}{4\pi km} \ln \left(\frac{2,25 \cdot a^* \cdot \tau}{R_j^2} \right), (i = 1 \dots n), \end{aligned} \quad (1)$$

где H_i — понижение уровня в рассматриваемой скважине; r_i — расстояние до взаимодействующей скважины; R_j — расстояние от питающей границы до рассматриваемой j -й скважины; τ — время; km — водопроводимость рассматриваемого водоносного горизонта; a^* — пьезопроводность пласта; n — число скважин; Q_i — дебит i -й заборной скважины; Q_j — дебит j -й заборной скважины; ρ_{ij} — расстояние от j -й взаимодействующей (заборной) скважины до рассматриваемой i -й контрольной скважины.

Применяя соотношение (1), для заданного уровня понижения в контрольных точках, можно определить дебиты добывающих скважин и суммарный дебит. С использованием данных о затратах на обустройство и эксплуатацию скважин, а также величине налога на недропользование [4] приведена методика определения оптимального числа добывающих скважин. В рассматриваемом случае при решении задачи оптимизации получено, что число добывающих скважин равно трём.

Построение аппроксимационной модели

Методика анализа и синтеза распределённых систем управления предполагает, что решение математических моделей распределённых объектов управления распадается по собственным вектор-функциям операторов объектов (по пространственным модам). Рассматриваемые пространственные моды выбираются с учётом граничных условий объекта управления. В рассматриваемом случае в соответствии с граничными условиями (полагают, что на границе выполняются условия первого рода) входное воздействие может быть записано в виде:

$$U_j = A \cdot \cos(\psi_\xi \cdot y_j), \quad \psi_\xi = \pi \cdot \xi / (L_y),$$

где ξ — номер моды; y_j — координаты расположения добывающих скважин реализующих входное воздействие; ψ_ξ — пространственная частота [1, 2, 5].

В соответствии с методикой моделирования входных воздействий и определения аппроксимирующих передаточных функций, проведём численный эксперимент. Входным воздействием на объект управления служит функция $U_j(t)$, а функцией выхода — изменение уровня понижения давления в контрольных точках. Расстояние от добывающих скважин до контрольных точек составляет 50 м. Определим статические коэффициенты усиления по первой и второй пространственным модам, а также динамические параметры по первой пространственной моде входного воздействия, представленной в виде

$$\begin{aligned} U_j = & A \cdot \sin(0,000005 \cdot \tau) \cdot \cos(\psi_\xi \cdot y_j), \\ & \psi_\xi = \pi \cdot 1 / (L_y) \end{aligned}$$

При проведении натурного или численного эксперимента, амплитуда пространственной моды (A) выбирается не более 10% от установившегося значения напора в изучаемом водоносном горизонте. На рис. 3 показаны графики переходного процесса $H(x = X_2, y = 150 \text{ м}, z = 130 \text{ м}, \tau)$, при этом во входном воздействии U_j , значение $A = 1$.

Обычно аппроксимационную модель, описывающую реакцию объекта на выбранную пространственную моду, записывают в виде апериодического звена и звена с чистым запаздыванием.

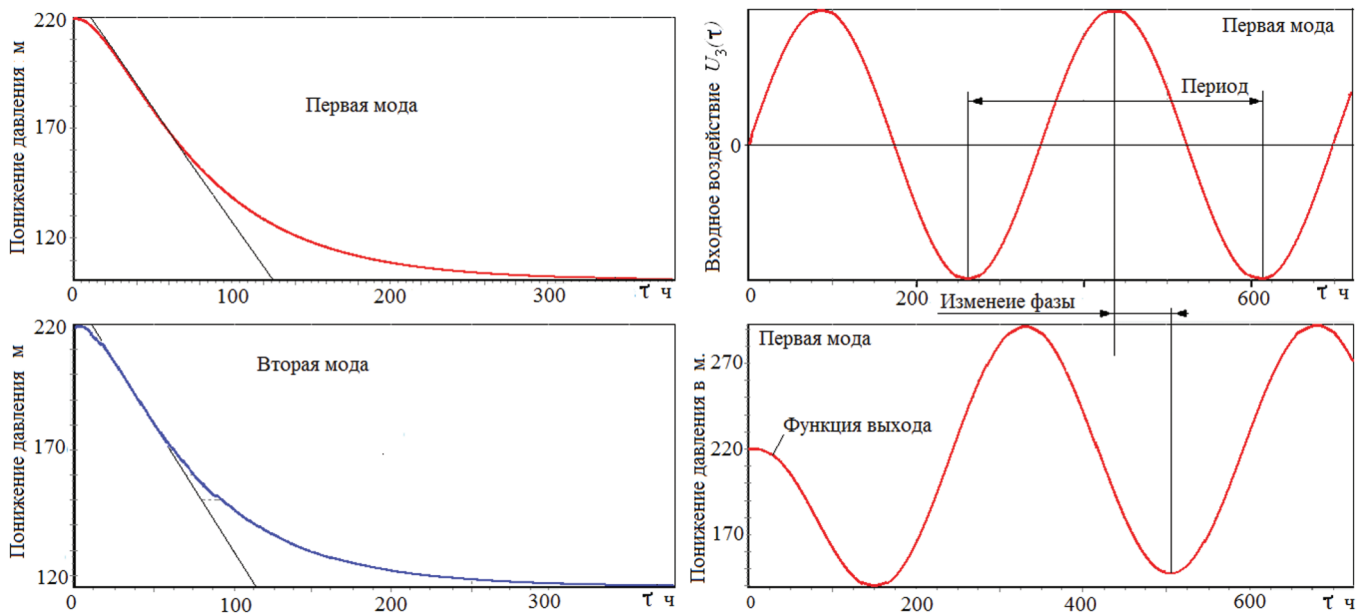


Рис. 3. Результаты моделирования

Исследования, приведённые в [6, 8], показывают, что для распределённых объектов такая аппроксимация приводит к значительным ошибкам при описании динамических характеристик объекта, что вызывает ошибки при решении задачи синтеза распределённых регуляторов. Рассмотрим не стандартную аппроксимационную модель распределённого объекта:

$$W_{a,1}(s) = \frac{K}{1} \exp(-z), \quad (2)$$

$$\frac{s}{a} = \frac{1}{2}, \quad (1),$$

где K — коэффициент, определяемый с использованием экспериментальных исследований.

Для описания передаточной функции объекта в виде аппроксимирующего звена (2) необходимо определить значения параметров K , z , a . Для этого используем экспериментальные исследования, результаты которых отражены на графиках рис. 3.

Методика определения параметров аппроксимирующего звена распадается на ряд этапов. Используя результаты моделирования (или результаты экспериментальных исследований на реальном объекте), определим сдвиг по фазе функции выхода относительно входного воздействия $\varphi = 0,000005$, $\varphi = -$ (изменение фазы/(0,5 периода)) = -1,191600 (рис. 3), а также статические коэффициенты усиления по выбранным пространственным модам

$$K_1 = (220 - 102)/1 = 118, K_3 = (220 - 288)/-1 = 68.$$

1. Определим значения K и z для аппроксимирующего звена (2). Приравняв статический коэффициент усиления звена (2), к статическим ко-

эффициентам усиления по выбранным пространственным модам, получим систему уравнений для определения значений K и z :

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{K}{1} \exp(-z), \\ K_3 &= \frac{K}{2} \exp(-z). \end{aligned} \quad (3)$$

Полагая $s = j$, $\omega = 0$, получим

$$1 = \left(\frac{2}{1}\right)^{1/2}, \quad 2 = \left(\frac{2}{2}\right)^{1/2}.$$

Решая систему уравнений (3), придём к следующему результату: $z = 20,091$, $K = 204,9$.

2. Определим значение параметра a . Для этого воспользуемся вычисленным значением сдвига по фазе функции выхода относительно входного воздействия $\varphi = -1,1916$. Запишем передаточную функцию аппроксимирующего звена по первой пространственной моде:

$$W_{a,1}(s) = \frac{K}{1} \exp(-z), \quad 1 = \frac{s}{a} \frac{1}{2}. \quad (4)$$

Полагая $s = j$, запишем соотношение для определения фазы аппроксимирующей функции (4)

$$z = \operatorname{Im}(\varphi) = \arctan(\operatorname{Im}(\varphi) / \operatorname{Re}(\varphi) - 1). \quad (5)$$

Подставляя исходные данные $\varphi = 0,000005$, $\varphi = -1,1916$ в соотношение (5), с использованием численных методов поиска решения уравнения вычислим значение параметра a . Для рассматриваемого случая

$$a = 0,000679.$$

Полученная передаточная функция аппроксимирующего звена записывается в виде:

$$W_a(s) = \frac{204,9}{1} \exp(-20,091s) \cdot \frac{s^{\frac{1}{2}}}{0,000679} \quad (6)$$

Постановка задачи синтеза регулятора: для системы управления параметрами гидrolитосферы Архызского месторождения подземных вод, синтезировать распределённый регулятор [2, 3, 9, 10]

$$W(y, s) = E_1 \frac{n_1}{n_1} \frac{1}{s} \frac{1}{n_1} s^2 E_4 \frac{n_4}{n_4} \frac{1}{n_4} \frac{1}{s} s^2 \frac{1}{s}$$

$$E_2 \frac{n_2}{n_2} \frac{1}{n_2} \frac{1}{n_2} s^2$$

(где s^2 — лапласиан), при этом на запас устойчивости разомкнутой системы по фазе f и на параметр наложены следующие ограничения: $f = 2,699$.

В [2, 3] исследованы частотные характеристики распределённого регулятора, которые представлены на рис. 4.

На рис. 4, представлены амплитудная (а) и фазовая (б) частотные характеристики распределённого регулятора, где (G) — линия перегиба (фазовый сдвиг регулятора для частот принадлежащих рассматриваемой линии равен нулю), G — обобщённая координата, в рассматриваемом случае $G = s^2$. Методика синтеза распределённого регулятора предполагает, что (G) совпадает с желаемой линией среза модуля разомкнутой системы.

Уравнение линии перегиба имеет вид [1, 2]:

$$\lg 0,5 \lg E_4 \frac{n_4}{n_4} \frac{1}{n_4} s^2$$

$$0,5 \lg E_2 \frac{n_2}{n_2} \frac{1}{n_2} s^2,$$

при этом модуль амплитудной характеристики регулятора $\bar{M}$ достигает минимального значения, которое определяется из соотношения:

$$\bar{M} = E_1 \frac{n_1}{n_1} \frac{1}{n_1} s^2 \quad (7)$$

Адаптируем известную [2, 3, 7, 9] методику синтеза распределённых регуляторов для случая использования нестандартных аппроксимационных моделей.

Полагая, что фазовый сдвиг, вносимый в систему регулятором равен нулю, для определения частот среза модуля разомкнутой системы получим следующее уравнение:

$$f = \arctg(\text{Im}(W_a(s \cdot j)) / \text{Re}(W_a(s \cdot j))), \quad (8)$$

$$= 1, 2, \dots$$

Используя вычисленные значения параметров аппроксимационного звена (5) и численно решая уравнение (8), определим значение частот среза модуля: ω_1 и ω_2 .

Определение параметров регулятора будем осуществлять, исходя из условия, что значение частот принадлежит линии перегиба. Для частот ω , принадлежащих линии перегиба, фазовый сдвиг, вносимый в разомкнутую систему регулятором, равен нулю. Подставляя $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ в уравнение линии перегиба, получим следующую систему уравнений:

$$\lg \omega_1 0,5 \lg E_4 \frac{n_4}{n_4} \frac{1}{n_4} s^2$$

$$0,5 \lg E_2 \frac{n_2}{n_2} \frac{1}{n_2} s^2, \quad (9)$$

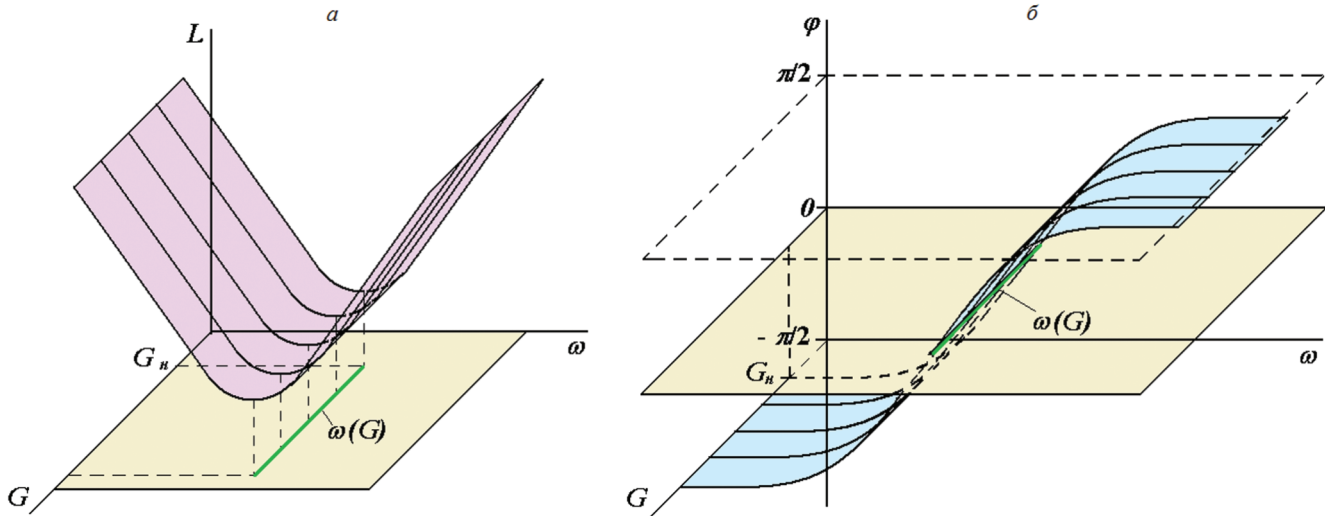


Рис. 4. Частотные характеристики распределённого регулятора

$$\lg \omega_2 = 0,5 \cdot \lg \left(E_4 \left[\frac{n_4 - 1}{n_4} + \frac{\psi_2^2}{n_4} \right] \right) - 0,5 \cdot \lg \left(E_2 \left[\frac{n_2 - 1}{n_2} + \frac{\psi_2^2}{n_2} \right] \right), \quad (10)$$

Вычитая из уравнения (9) уравнение (10), придём к следующему результату:

$$\lg \Delta \omega^2 = \lg \left(\frac{n_4 - 1 + \psi_2^2}{n_4 - 1 + \psi_1^2} \right) - \lg \left(\frac{n_2 - 1 + \psi_2^2}{n_2 - 1 + \psi_1^2} \right), \quad (11)$$

$$\text{где } \Delta \omega^2 = \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2}.$$

Используя (11), определим значения n_2 и n_4 . Если $\Delta \omega^2 > 1$, то положим в (9) $n_2 = \infty$. Тогда n_4 определяется соотношением:

$$n_4 = (\Delta \omega^2 - 1 + \psi_2^2 - \Delta \omega^2 \cdot \psi_1^2) / (\Delta \omega^2 - 1).$$

При этом на изменение значения n_4 , в соответствии с [2, 3], наложено ограничение $n_4 \geq 1$.

Вычислив значение n_4 и рассматривая совместно уравнение (9) и (10), определим значения E_2 и E_4 . Полагая $s = j\omega$ и подставляя $\omega = \omega_\eta$, ($\eta = 1, 2$) в (6), определим значения модуля аппроксимирующего звена (M_η). Поскольку $\omega = \omega_\eta$ являются частотами среза модуля разомкнутой системы, то коэффициенты усиления регулятора в этих точках равны:

$$\overline{M}_1 = (M_1)^{-1}, \quad \overline{M}_2 = (M_2)^{-1},$$

Определение параметров n_1 и E_1 будем осуществлять, исходя из условия (7)

$$\overline{M}_1 = E_1 \cdot \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{\psi_1^2}{n_1} \right], \quad (12)$$

$$\overline{M}_2 = E_1 \cdot \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{\psi_2^2}{n_1} \right]. \quad (13)$$

Поделив (13) на (12), придём к следующему результату:

$$n_1 = \frac{-1 + \Delta M - \Delta M \cdot \psi_1^2 + \psi_2^2}{\Delta M - 1},$$

$$\text{где } \Delta M = \frac{\overline{M}_2}{\overline{M}_1}.$$

При этом значения n_1 подчинены ограничению $n_1 \geq 1$.

На основе приведенного выше алгоритма вычисления параметров распределённого регулятора, была разработана программа расчёта и вычислены параметры:

$$n_1 = 1,004713; E_1 = 14,310405; n_2 = \infty; E_2 = 1713,828301; n_4 = 1,00665; E_4 = 0,00017.$$

Передаточная функция распределённого регулятора записывается в виде:

$$W(y, s) = 14,310405 \cdot \left[\frac{0,004713}{1,004713} - \frac{1}{1,004713} \nabla^2 \right] + 0,00017 \cdot \left[\frac{0,00665}{1,00665} - \frac{1}{1,00665} \nabla^2 \right] \frac{1}{s} + 1713,8283 \cdot s.$$

Структурная схема распределённой системы управления приведена на рис. 5. При моделировании работы замкнутой системы управления, целевая функция была выбрана в виде $H(y_{0,j}, \tau) = H_{0,2} - 1 = 220 - 1 = 219$.

Управляющее воздействие на объект управления, записанное во временной области, может быть представлено в виде:

$$U(y, \tau) = 14,310405 \cdot \left[\frac{0,004713}{1,004713} \cdot \Delta H(y, \tau) - \frac{1}{1,004713} \nabla^2 \Delta H(y, \tau) \right] + 0,00017 \cdot \int_{\tau} \left[\frac{0,00665}{1,00665} \cdot \Delta H(y, \tau) - \frac{1}{1,00665} \nabla^2 \Delta H(y, \tau) \right] \cdot d\tau + 1713,8283 \frac{d\Delta H(y, \tau)}{d\tau}. \quad (14)$$

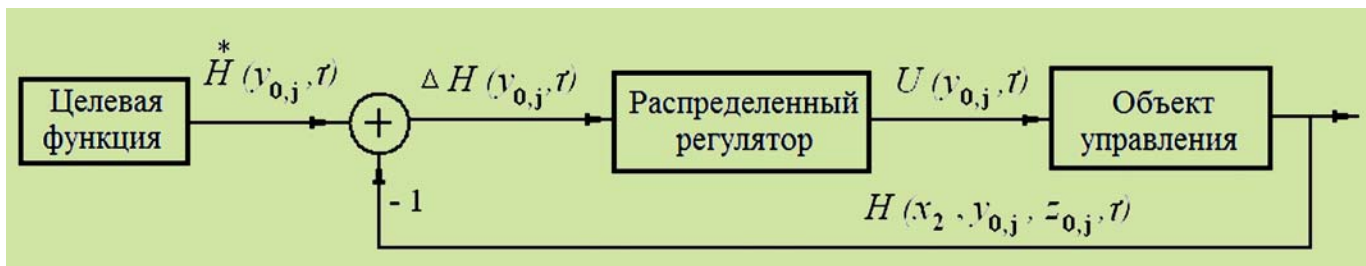


Рис. 5. Структурная схема системы управления

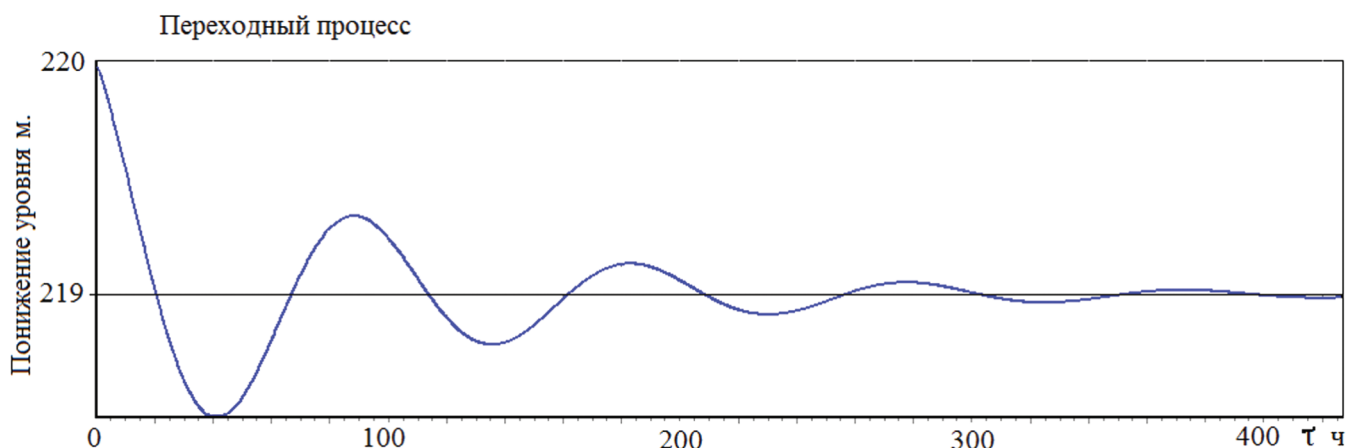


Рис. 6. Графики переходного процесса

Преобразуя (14) и представляя в дискретной (по пространственной координате) форме, получим

алгоритм управления рассматриваемым процессом:

$$U(\tau) = 14,310405 - 0,004713 \cdot H(\tau) - \frac{H_1(\tau) - 2H(\tau) + H_1(\tau)}{y^2} + 0,00017 - 0,00665 \cdot H(\tau) - \frac{H_1(\tau) - 2H(\tau) + H_1(\tau)}{y^2} + d \cdot 1713,8283 \frac{dH(\tau)}{d\tau}.$$

($\tau = 2, 3, 4$).

При использовании результатов моделирования работы замкнутой системы управления, получен график переходного процесса, приведённый на рис. 6

Как показывают результаты моделирования, регулятор достаточно хорошо управляет процессом.

Заключение

Представленная в статье методика определения параметров аппроксимирующего звена гидrolитос-

ферных процессов ориентирована на использование результатов численного моделирования или экспериментальных исследований на физическом объекте. Методика синтеза распределённых регуляторов адаптирована для случая использования нестандартных аппроксимационных звеньев. Результаты моделирования замкнутой системы управления показывают, что изложенные в статье подходы достаточно эффективны при проектировании систем управления гидrolитосферными процессами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кисловодское месторождение углекислых минеральных вод: Системный анализ, диагностика, прогноз, управление / А.В. Малков, И.М. Першин, И.С. Помеляйко и др. М.: Наука, 2015. 283 с.
2. Малков А.В., Першин И.М. Системы с распределёнными параметрами. Анализ и синтез. М.: Научный мир, 2012. 476 с.
3. Малков А.В., Першин И.М. Синтез распределённых регуляторов для систем управления гидrolитосферными процессами. М.: Научный мир, 2007. 364 с.
4. Малков А.В., Першин И.М., Кузьмин Н.Н. Формирование целевых функций в задачах управления гидrolитосферными процессами // Сб. 5-я Российская мультиконференция по проблемам управления (ИТУ-2012). 2012. С. 622–632.
5. Першин И.М. Распределённые системы обработки информации. Пятигорск. РИА-КМВ, 2008. 148 с.
6. Першин М.И. Исследование погрешностей динамических характеристик распределённых объектов при аппроксимации // Современная наука и инновации. Выпуск №4(8), 2014. С. 46–50.
7. Першин И.М., Веселов Г.Е., Першин М.И. Синтез распределённых систем управления гидrolитосферными процессами месторождений минеральных вод // Изв. ЮФУ. Технические науки. 2014. № 8. С. 123–137.
8. Першин И.М., Веселов Г.Е., Першин М.И. Методы аппроксимации передаточных функций распределённых объектов // Системный синтез и прикладная синергетика. Сб. трудов 7-й Всероссийской научной конференции (5–9 октября 2015 г., Россия, г. Таганрог). Издательство ЮФУ. ГСП 17А, Таганрог, 28, Некрасовский, 44. 106–117.
9. Першин И.М., Малков А.В., Дубогрей В.Ф. Методика синтеза распределённых систем управления режимами эксплуатации месторождений минеральных вод // Изв. вузов. Геология и разведка. 2012. № 2. С. 76–81.
10. Першин И.М., Малков А.В., Чаплева В.В. Технологическая безопасность эксплуатации гидromинеральных источников. Изв. ЮФУ. Технические науки. 2012. № 4 (129). С. 25–31.

11. Першин И.М., Помеляйко И.С. Системный анализ экологического состояния зоны гипергинеа курорта Кисловодска // Вестник СКФУ 2013. №3 (36). С. 74–80.

12. Martirosyan A.V., Martirosyan K.V., Pershin I.M. Analysis of the Caucasus Mineral Waters' Field's Modeling// Modern Applied Science; Vol. 9, No. 1; 2015 P. 204–210. ISSN 1913-1844 E-ISSN 1913-1852. Published by Canadian Center of Science and Education.

УДК 541.124+553.041

ТЕХНОГЕННАЯ ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ УГЛЕВОДОРОДОВ КАК ПРОДУКТ БИОТРАНСФОРМАЦИИ

А.П. ХАУСТОВ

Российский университет дружбы народов

115093, Россия, г. Москва, Подольское шоссе, 8/5, Экологический факультет, к. 326; e-mail: akhaustov@yandex.ru

Оценены возможности кооперативных эффектов взаимодействия внешних и внутренних факторов углеводородных техногенных систем. На основе принципов самоорганизации рассмотрены возможности проявления и структуризации форм геохимической зональности при загрязнении гидrolитосферы нефтью и нефтепродуктами. Для зон аэрации и насыщения приоритеты в формировании техногенной геохимической зональности отдаются органическому веществу.

Ключевые слова: техногенез; трансформация; нефтепродукты; самоорганизация; зональность.

TECHNOGENIC GEOCHEMICAL ZONATION OF HYDROCARBONS AS A PRODUCT OF BIOTRANSFORMATION

A.P. KHAUSTOV

Peoples' Friendship University of Russia, Department of Applied Ecology

115093, Russia, Moscow, Podolskoye Shosse, 8/5, Ecological Faculty, of. 326; e-mail: akhaustov@yandex.ru

Opportunities of the cooperative effects of the interaction of external and internal factors of the hydrocarbon technogenic systems are evaluated. Based on the principles of the self-organization, the opportunities of the manifestation of geochemical zonation forms at the sites of the pollution of the hydrolithosphere with oil and petroleum products are considered. For zones of aeration and saturation the priority in the formation of the technogenic geochemical zonation is given to the organic matter.

Key words: technogenesis; transformation; petroleum products; selforganization; zonation (zonal structure).

Техногенез рассматривается как непрерывная самоорганизация локальных зон загрязнения (генетическая структуризация) с дифференциацией вещества (углеводородов (УВ) и других соединений) во времени по разрезу и площади. Внешняя среда по отношению к техногенным системам (ТС) развивается по своим законам и препятствует иному пути их развития, заставляя ТС принимать природную геохимическую зональность. Это исходное положение постулирует генетическое сходство стадий эволюций обеих систем. Однако процессы эволюции ТС протекают несоизмеримо быстрее, поскольку влияние внешней среды превалирует, а ТС не успевает адаптироваться. Как

следствие возникают несвойственные природе субстанции с максимумом изменчивости свойств, способных к бифуркации «изолированных» процессов.

Приведем пример. Нефть, попадая из восстановительной геохимической среды в окислительную, активно противостоит процессам саморазложения. Если это локальное во времени и пространстве проявление, то по отношению к глобальным воздействиям формируются многочисленные центры бифуркации и изолированные цепочки веществ (арены или другие, легко вступающие в реакции соединения). При естественном нефтепроявлении будут появляться устоявшиеся центры бифурка-