

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЦИФРОВОЙ МИНИМАКСНОЙ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ГАЗЛИФТА*

Ф.А.Алиев¹, Р.Есадуллаев², Н.А.Исмаилов¹

¹Институт Прикладной Математики БГУ, Баку, Азербайджан

²Академия Наук Туркменистана, Ашгабад, Туркменистан
e-mail: f_aliev@yahoo.com

Резюме. Формируется цифровая минимаксная задача для определения режима газлифта и с помощью решений соответствующих дискретных уравнений Эйлера – Лагранжа, приводится ее общее математическое представление. Предлагается вычислительный алгоритм на примере плоского нелинейного случая, где используется алгоритм для решения соответствующей задачи оптимизации. Показывается, что числовые результаты совпадают с ранее известными промысловыми статистическими данными.

Ключевые слова: минимаксная задача, уравнение Эйлера-Лагранжа, дискретизация, метод прогонки

AMS Subject Classification: 49J15, 49J35

1. Введение

Как известно [1], выбор оптимальных режимов в газлифтном процессе сводится к решению линейно-квадратичной (ЛК) задачи оптимизации динамических систем [2], где предполагается, что объем дебита должен быть фиксированным. Однако, [3-5] такая минимаксная задача [6] отличается от классического подхода тем, что здесь требуется с минимально подаваемым газовым объемом (или давлением) добиться максимального дебита. В [6] сделана попытка моделировать газлифт и решить данную задачу с помощью ЛК задачи минимакса. Отметим, что задача сформулированная в [6] отличается от известных [7,8] тем, что в [6] используя одно и того же управления удается получить минимаксное значение соответствующего квадратичного функционала, где управляющее воздействие является непрерывной функцией. Однако, в скважинах, эксплуатируемых газлифтным способом, непрерывная подача объема газа (или давления) в устье нарушается [3], т.е. для эксплуатации пласта газ подается порциями [4]. Обычно управляющая функция является кусочно-постоянной, поэтому требуется дискретизировать исходное уравнение,

* Работа поддержана Грантом № EIF-2011-1(3)-82/25/1 Фонда поддержки развития науки Азербайджана

описывающее движение флюидов [2] как в кольцевом пространстве, так и в подъемнике. Далее ставится дискретная минимаксная задача и с помощью уравнения Эйлера-Лагранжа находится оптимальный режим газлифта. На осредненном по времени нелинейно-квадратичном примере иллюстрируется конкретная промысловая задача, где результаты совпадают с ранее известными результатами.

2. Постановка задачи

Как известно [2], движение флюидов на каждом уровне описывается следующей системой линейных дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \frac{dP_i}{dt} &= -\frac{Q_i^2}{F_i l_i} (Q_i - Q_{i-1}), \\ \frac{dQ_i}{dt} &= \frac{F_i}{l_i} (P_i - P_{i-1}) - 2a_i Q_i \quad i = \overline{1, k}, \end{aligned} \quad (1)$$

которые после соответствующих преобразований можно свести к следующему

$$\dot{y} = Fu + Gu, \quad y(0) = y_0. \quad (2)$$

Здесь $\dot{y} = [P_1, Q_1, \dots, P_k, Q_k, \dots, P_{2k+1}, Q_{2k+1}]$, $u' = [P_0, Q_0]$, l – глубина скважины, которая разделена на k частей l_i ($l = l_1 + l_2 + \dots + l_k$); P_i, Q_i – соответствующие значения $P(t), Q(t)$. Как управляющее воздействие принимаются начальное давление P_0 и Q_0 – u – объем газа, a_i ($i = 1, 2$) – объемный коэффициент нефти; c_i ($i = 1, 2$) – скорость звука в жидкости, F_x ($x = 1, 2$) – соответствующие радиусы сечения кольцевого пространства насосно-компрессорной трубы; F, G матрицы размерности $(2k + 1)(2k + 1)$ и $(2k + 1) \times 2$ которые определяются как в [2].

Для простоты предположим, что в устье подаваемый газ превращает поступающий флюид из пласта в газозожидкостную смесь и передача в подъемник описывается с помощью импульсных уравнений[†]

$$\begin{bmatrix} P_k(\tau + 0) \\ Q_k(\tau + 0) \end{bmatrix} = F_\delta \begin{bmatrix} P_k(\tau - 0) \\ Q_k(\tau - 0) \end{bmatrix} + \overline{Q}, \quad (3)$$

где F_δ – матрица которая определяется из истории пласта, \overline{Q} – возможность пласта; $\tau \in [0, T]$.

[†] Отметим, что уравнение (3) является идеализированным случаем описывающим превращение флюида в смеси и переход в подъемник. А на самом деле уравнение (3) надо заменять линейными уравнениями являющимися результатами линеаризации на основе метода идентификации [9].

Пусть управление $u(t)$ является кусочно-постоянным в интервале $[0, T]$. Разделим интервал времени на m равных частей и предположим, что τ совпадает с одной из точек разделения внутри интервала $(0, T)$, совпадающий со слиянием подаваемого сверху (в устье) расхода газа и флюидов пласта.

Тогда дискретизируя уравнение (2) имеем

$$y(i+1) = \psi y(i) + \Gamma u(i), \quad y(0) = y_0, \quad i = 0, 1, 2, \dots, m-1, \quad (4)$$

где

$$\psi = e^{F\Delta}, \quad \Gamma = F^{-1}(\psi - E)G, \quad \Delta = \frac{T}{m}.$$

Таким образом движение полностью описывается системой разностных уравнений (3), (4).

Задача состоит в нахождении такого управляющего воздействия $u(i)$, которое при ограничениях (3), (4), максимизирует дебит $Q_{2k+1}^2(m)$, с минимальным расходом газа на устье скважины, т.е. минимизирует функционал

$$\sum_{i=0}^{m-1} u'(i)Ru(i), \quad (5)$$

где R симметричная, положительно-определенная матрица.

Такая постановка является нетрадиционной задачей минимакса, т.е. в обычных задачах управлений минимакса [7, 8] присутствуют два разно характерные управления, одно из которых минимизирует, а второе максимизирует соответствующие функционалы. Как видно из вышесформулированной задачи, здесь с помощью одного управления одновременно проводится как минимизация, так и максимизация соответствующих функционалов.

Нахождение решения задачи (3)-(5) является сложным, поэтому объединяя функционал (5) с $Q_{2k+1}^2(m)$ в следующем виде

$$J = \alpha Q_{2k+1}^2 + \sum_{i=0}^{m-1} u'(i)Ru(i) \quad (6)$$

выбором числа $\alpha < 0$ и матрицы $R > 0$ задача приводится к соответствующим результатам для выбора оптимального режима газлифта.

Итак, задача состоит в нахождении седловых точек для функционала (6) при (4), который с минимальным объемом газа в устье обеспечивает максимальный дебит Q_{2k+1}^2 на выходе скважины.

Для решения задачи (3), (4), (6) приведем (3), (4) к более конкретному виду. Предположим, что в (4) время τ соответствует точке деления k . Тогда, после $i = k$ уравнения (3), (4) примут следующий вид

$$\begin{aligned} y(k) &= \Psi y(k-1) + \Gamma u(k-1), \\ y(k+0) &= F_{\delta} y(k-0) + \bar{Q}, \\ y(k+1) &= \Psi y(k) + \Gamma u(k). \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь соотношение (3) фактически входит в уравнение (4). Для того, чтобы организовать добычу ГЖС из пласта надо в (7) учесть равенство $y(k) = y(\tau - 0)$ во втором соотношении, а второе $y(k+0) = y(k)$ учесть в третьем. Таким образом (7) переходит к виду

$$\begin{aligned} y(k-0) &= \Psi y(k-1) + \Gamma u(k-1), \\ y(k+1) &= \Psi F_{\delta} y(k-0) + \Gamma u(k) + F_{\delta} \bar{Q}, \end{aligned} \quad (8)$$

и сама система (8) становится нестационарной, где вместо разностного уравнения (4) имеем уравнение (8) с возмущениями $F_{\delta} \bar{Q}$. Однако, если F_{δ}^{-1} существует, то, не умаляя общности, можно предполагать, что $F_{\delta} = E$, т.е. с помощью SVD разложения представление матрицы $F_{\delta} = u \sigma V$ уравнения (8) можно привести к виду

$$y(i+1) = \Psi y(i) + \Gamma u(i) + v, \quad y(0) = y_0, \quad (9)$$

где $v^1 = [0, 0, \dots, Q, 0, \dots, 0]$ и (9) отличаются от (4) только возмущением v .

3. Алгоритм решения минимаксной задачи оптимизации (6), (9)

Для решения минимаксной задачи (6), (9) с начала составим расширенный функционал и перепишем дискретное уравнение Эйлера-Лагранжа в следующем виде

$$\left. \begin{aligned} y(i+1) &= \Psi y(i) - \Gamma R^{-1} \Gamma^1 \lambda(i+1) + v \\ \lambda(i) &= \Psi^1 \lambda(i+1) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

с краевыми условиями

$$y(0) = y_0, \quad \lambda(m) = N y(m), \quad (11)$$

где $N = \text{diag}(0, 0, \dots, \alpha)$ и управление $u(i)$ определяется из соотношений

$$u(i) = -R^{-1} \Gamma^1 \lambda(i+1). \quad (12)$$

Траектория $y(i)$ определяется из (9)-(12). Теперь остановимся на вычислении $y(i)$ и $u(i)$. Для этого напишем (10) в следующем виде

$$\begin{vmatrix} y(i+1) \\ \lambda(i+1) \end{vmatrix} = \begin{bmatrix} \Psi - \Gamma R^{-1} \Gamma^1 \Psi'^{-1} \\ 0 & \Psi'^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y(i) \\ \lambda(i) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v \\ 0 \end{bmatrix} = H \begin{vmatrix} y_i \\ \lambda_i \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} v \\ 0 \end{vmatrix}, \quad (13)$$

где

$$H = \begin{bmatrix} \Psi & -\Gamma'R^{-1}\Gamma'\Psi'^{-1} \\ 0 & \Psi'^{-1} \end{bmatrix}.$$

Легко показать, что

$$\begin{bmatrix} y(m) \\ \lambda(m) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Psi^m & \Psi^m X - X(\Psi')^{-m} \\ 0 & (\Psi')^{-m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y(0) \\ \lambda(0) \end{bmatrix} + V, \quad (14)$$

где неизвестная постоянная матрица X определяется из следующего дискретного алгебраического уравнения Ляпунова

$$X = \Psi X \Psi' - \Gamma R^{-1} \Gamma' \quad (15)$$

а вектор V имеет вид

$$V = \sum_{i=0}^{m-1} H^i \begin{bmatrix} v \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^{m-1} \Psi^i v \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Объединив (14) с (11), для определения $\lambda(0)$, $\lambda(m)$, $y(m)$, имеем следующую систему алгебраических уравнений

$$\begin{bmatrix} E & -\Psi^m X - X(\Psi')^{-m} & 0 \\ 0 & -(\Psi')^{-m} & E \\ =N & 0 & E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y(m) \\ \lambda(0) \\ \lambda(m) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 + \Psi^n y_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (16)$$

Решив эту систему находим $y(m), \lambda(0), \lambda(m)$ и при начальных условиях $y(0), \lambda(0)$ восстанавливаем $y(i), \lambda(i)$. Далее, по (12) определяем искомое управление $u(i)$.

Таким образом, для определения дискретных минимаксных решений задачи (9), (6) имеем следующий алгоритм.

Алгоритм 1.

1. Формируются матрицы Ψ, Γ, N, R из (3), (4), (6), соответственно.
2. Решив дискретное матричное алгебраическое уравнение Ляпунова (15) находится X .
3. Решается линейное матричное алгебраическое уравнение (16) относительно $y(m), \lambda(0), \lambda(m)$.
4. При начальных условиях $\begin{pmatrix} y(0) \\ \lambda(0) \end{pmatrix}$ из (10) вычисляются $\begin{pmatrix} y(i) \\ \lambda(i) \end{pmatrix}$.
5. По формуле (12) вычисляется искомое управление $u(i)$.

Таким образом, с помощью алгоритма 1 вычисляется оптимальный режим $u(i), y(i)$ газлифта. Отметим, что такой алгоритм при выполнении соответствующих шагов требует повышение размерности исходной системы

(4). Поэтому, рассмотрим метод прогонки, который является более практическим для нахождения оптимальных управлений и траекторий.

Алгоритм прогонки: Из линейности разностных уравнений (10) и закон управлений (12) можно искать множителей Лагранжа $\lambda(i)$ в следующем виде

$$\lambda(i) = S(i)y(i) + Z(i). \quad (17)$$

Подставляя (17) в первое уравнение (10) находим, что

$$y(i+1) = (E + MS_{(i+1)})^{-1} \Psi y_i - (E + MS_{(i+1)})^{-1} (MZ_{(i+1)}) + v. \quad (18)$$

Учитывая последнее во втором уравнении (10) для определения $S(i), Z(i)$, получим следующие разностные уравнения

$$S(i) = \psi' S(i+1) (E + MS(i+1))^{-1} \psi \quad (19)$$

$$Z(i) = \left[E - \psi' S(i+1) (E + MS(i+1))^{-1} M \right] Z(i+1) + \psi' S(i+1) (E + MS(i+1)) v_i, \quad (20)$$

где из (11) и (17) для $S(m), Z(m)$ имеем

$$S(m) = N, \quad Z(m) = 0. \quad (21)$$

Решив матричные разностные уравнения (19), (20) с соответствующими конечными условиями находится $S(i), Z(i)$ и по (18) при соответствующих начальных условиях вычисляется $y(i)$ и из (12) находится управление $u(i)$.

Таким образом, имеем следующий алгоритм прогонки для решения задачи (3), (4), (9).

Алгоритм 2.

1. Формируются матрицы ψ, Γ, N, R, v из (3), (4), (9), (11), соответственно.
2. Решаются матричные уравнения (19), (20) с конечными условиями (21) и находятся $S(i), Z(i), i = 0, 1, \dots$
3. По (18) восстанавливается $y(i)$ при начальном условии $y(0)$.
4. По уравнениям (12), (17) находится $u(i)$

$$u(i) = -R^{-1} \Gamma' (S(i+1)y(i+1) + z(i+1)) \quad (22)$$

4. Задача осредненная по времени t

Рассмотрим дискретный вариант осредненной по времени t минимаксной задачи управления газлифтом, Тогда, разделяя глубины скважины на k частей и используя метод Эйлера [10], получим конечно-разностное уравнение движения газожидкостной смеси в следующем виде

$$Q(x_{i+1}) = Q(x_i) + \Delta x_i \frac{g_1 a_1 \rho_1 F_1 Q^2(x_i)}{c_1^2 \rho_1^2 F_1 - Q^2(x_i)}, \quad (23)$$

$$Q(0) = u_0, \quad i = 0, 1, \dots, k-1,$$

$$Q(x_{k+1}) = f_\delta Q(x_k) + \bar{Q}, \quad (24)$$

$$Q(x_{i+1}) = Q(x_i) + \Delta x \frac{g_1 a_2 \rho_2 F_2 Q^2(x_i)}{c_2^2 \rho_2^2 F_2 - Q^2(x_i)}, \quad (25)$$

$$i = k + 1, k + 2, \dots, 2k^2,$$

где уравнение (23) описывает движение газа в кольцевом пространстве, (24) конец кольцевого пространства + пласт и начало подъемника, уравнение (25) описывает движение в подъемнике. Как в [11], $Q(x_i) = F_i \omega_s(x_i)$ массовый расход закачиваемого газа в кольцевом пространстве и газожидкостной смеси в подъемнике. F_i – площади поперечных сечений кольцевых и подъемных труб соответственно являются постоянными. $\omega_s(x_i)$ – осредненные по сечению скорости движения смеси, $\rho_x (x = 1, 2)$ плотности газа, нефти и газожидкостной смеси соответственно в кольцевом пространстве и в подъемнике, c_i - скорости звука в газе и ГЖС соответственно.

Задача состоит в нахождении такого минимального значения газа $Q(0)$ из (23), чтобы дебит скважины $Q(x_{2k+1})$ достиг максимального значения. Этого можно добиться нахождением седловых точек следующего функционала

$$I = \frac{1}{2} (\bar{\alpha} Q(x_{2k+1}) + \bar{\beta} u^2) \quad (26)$$

при удовлетворении уравнений (23)-(25). Здесь $\alpha < 0$ и $\beta > 0$ постоянные весовые коэффициенты, выбор которых ограничивает $Q(2k + 1)$ и u .

Дискретное уравнение Эйлера - Лагранжа для каждой части газлифта имеет вид

$$\lambda(x_i) = \left(1 + \Delta x_i \frac{4a_1 c_1^2 \rho_1^3 F_1^2 Q(x_i)}{(c_1^2 \rho_1^2 F_1 - Q^2(x_i))^2} \right) \lambda(x_{i+1}), \quad (27)$$

$$i = 0, 1, \dots, k - 1,$$

$$\lambda(x_k) = f_\delta \lambda(x_{k+1}), \quad (28)$$

$$\lambda(x_i) = \left(1 + \Delta x_i \frac{4a_2 c_2^2 \rho_2^3 F_2^2 Q(x_i)}{(c_2^2 \rho_2^2 F_2 - Q^2(x_i))^2} \right) \lambda(x_{i+1}), \quad (29)$$

$$i = k + 1, k + 2, \dots, 2k$$

с краевыми условиями

$$\lambda(x_{2k+1}) = \bar{\alpha} Q(x_{2k+1}) \quad (30)$$

$$\frac{\partial J}{\partial u} = \lambda(0) + \beta u = 0. \quad (31)$$

Остановимся на определении $Q(x_i) \lambda(x_i)$ из (23)-(25), (27)-(29) с краевыми условиями (30), (31). Как в непрерывном случае [6] решая

уравнения (23)-(25) с заданными начальными условиями $Q(0) = u$ из (30) можем определить $\lambda(x_{2k+1})$. С учетом этого, решение системы конечно-разностных уравнений (23)-(25), (27)-(29) с конечными условиями $\begin{pmatrix} Q(x_{2k+1}) \\ \lambda(x_{2k+1}) \end{pmatrix}$

позволяют полностью определить $\begin{pmatrix} Q(x_i) \\ \lambda(x_i) \end{pmatrix}$. Седловыми значениями являются

те значения $Q^*(x_i), \lambda^*(x_i), u^*$ которые удовлетворяют соотношению (31) с заранее заданной точностью. Для этого можно использовать градиентный метод [12], который выглядит так:

Алгоритм 3.

1. Выбирая начальное приближение u^n решается уравнение (23)-(25), находится $Q^n(x_{2k+1})$, где n - номер шага итерации.

2. При конечных условиях

$$Q^n(x_{2k+1}), \alpha Q^n(x_{2k+1}) = \lambda^n(x_{2k+1}) \quad (32)$$

из (23)-(25), (27)-(29) определяются $Q^n(x_i), \lambda^n(x_i)$ при $i = 0, 1, \dots, 2k - 1$.

3. Проверяется условие (31). Если оно не удовлетворяется с заданной точностью, вычисляется следующая итерация u^{n+1} в виде

$$u^{n+1} = u^n + v_n J'(u^n), \quad (33)$$

где $J'(u)$ определяется как

$$J'(u^n) = \lambda^n(0) + \beta u^n \quad (34)$$

и параметр v_n выбирается так, чтобы $J'(u_n) \rightarrow 0$.

4. При удовлетворении условия (31) с заданной точностью вычисление останавливается и как оптимальное решение принимается $u^{(n)}, Q^{(n)}$. Иначе, переходим ко второму шагу и повторяем процесс до удовлетворения условия (31) с достаточной точностью.

С практической точки зрения более интересным является случай, когда

$$Q(x_{k+1}) = Q(x_{2k+1}), \quad (35)$$

т.е. тот объем ГЖС в башмаке скважины, который находится в начальной стадии подъема, полностью передается на выход скважины (конец подъемника). Поэтому (35) позволяет в функционале (26) $Q(x_{2k+1})$ заменить на $Q(x_{k+1})$, т.е. (26) переходит к виду

$$J = \bar{\alpha} Q(x_{k+1}) + \bar{\beta} u^2. \quad (36)$$

Теперь переходим к решению периодической задачи оптимизации (23)-(25), (35), (36).

Как в [13] можно доказать, что к соответствующему уравнению Эйлера-Лагранжа надо добавить следующие краевые условия

$$\bar{\alpha}Q(x_{k+1}) - \lambda(2l) = 0, \quad 2l = x_{2k+1}. \quad (37)$$

Таким образом, для уравнения (23), (25), (27), (29) имеем краевые условия (32), (35), (37). После соответствующих выводов имеем алгоритм 4, который отличается от алгоритма 2 только одним шагом следующего вида:

Шаг 2. При конечных условиях

$$Q^n(x_{2k+1}), \quad \lambda^n(2l) = \bar{\alpha}Q^n(x_{k+1})$$

из (23)-(25), (27)-(29) определяются $Q^n(x), \lambda^n(x_i)$ при $i = 0, 1, \dots, 2n - 1$.

При следующих исходных данных

$$0 \leq x \leq l, \quad l = 1485m/c, \quad \rho = 0.750kg/m^3, \quad d = 0.73m, \quad \lambda = 0.01$$

$$l \leq y \leq 2l, \quad cl = 8501m/c, \quad \rho = 700kg/m^3, \quad d = 0.0876, \quad \lambda = 0.23$$

иллюстрируем на этом же примере предложенный выше дискретный минимаксный алгоритм.

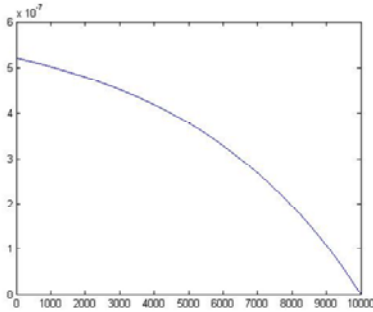


Рис. 1. Зависимость P_0 от t

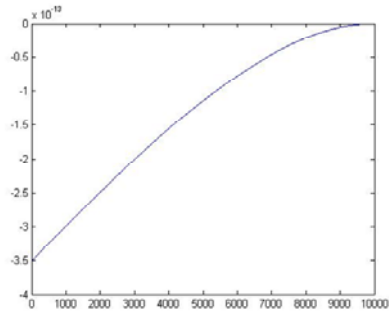


Рис. 2. Зависимость Q_0 от t

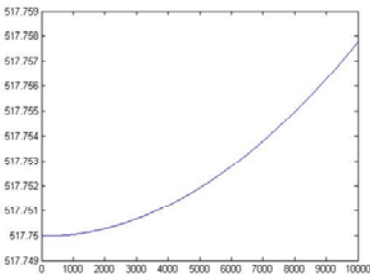


Рис. 3. Зависимость P_1 от t

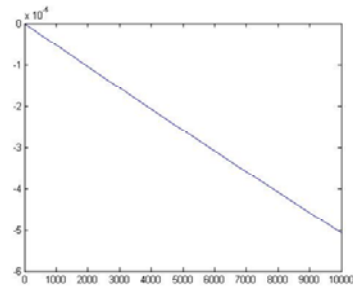


Рис. 4. Зависимость Q_1 от t

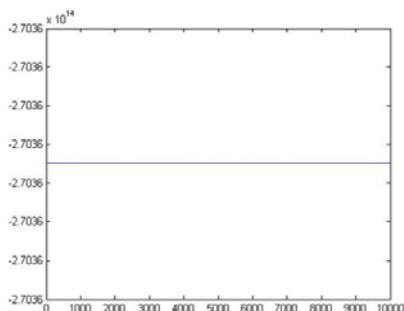


Рис. 5. Зависимость P_2 от t

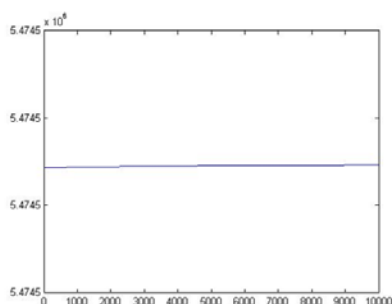


Рис. 6. Зависимость Q_2 от t

Таким образом, рис.1-6 подтверждают совпадение зависимости $Q(2l)$ с [3]. Отметим, что цифровая минимальная задача позволяет включения компьютера в контур управления скважины эксплуатируемым газлифтным способом. Так как при этом объект управления считается приемлемым, когда система описывается конечно-разностными соотношениями.

Литература

1. Алиев Ф.А., Ильясов М.Х., Джамалбеков М.А. Моделирование работы газлифтной скважины, Доклады НАН Азербайджана, 2008, т.4, с.30-41.
2. Алиев Ф.А., Ильясов М.Х., Нуриев Н.Б. Проблемы математического моделирования, оптимизация и управления газлифта, Доклады НАН Азербайджана, 2009, №2, с.43-57.
3. Мирзаджанизаде А.Х., Ахметов И.М., Хасаев А.М. и др. Технология и техника добычи нефти, Под ред. А.Х. Мирзаджанизаде, М.:Наука, 1986, 382с.
4. Шуров В.И. Технология и техника добычи нефти, М.:Недра, 1983, 512с.
5. Imsland L.S., Eikrem G.O., Foss V.A. A state feedback controller for a class of nonlinear positive systems applied to stabilization of gas-lifted oil wells, Control Engineering Practice, N3, 2006, pp.7-15.
6. Алиев Ф.А. Минимаксное решение задачи выбора оптимальных режимов газлифта, Доклады НАН Азерб., №5, 2011, с.27-36.
7. Демьянов В.Ф., Малоземов В.Н. Введение в минимакс, М.: Наука, 1972, 368 с.
8. Basar T. and Bernhard A.P. H^∞ optimal control and related minimax design problems, A dynamic game approach, Birkhauser, Boston, Berlin, 1995, 411p.
9. Алиев Ф.А., Исмаилов Н.А. Об одной задаче идентификации в линейном стационарном случае, Доклады НАН Азерб., №6, 2010, с.6-14.
10. Березин И.С., Жидков Н.П, Методы вычислений, Москва, ГИФМЛ, 1962.

11. Чарный И.А. Подземная гидрогазодинамика, ТНТИНГ-ТА., Москва, 1963, 396 с.
12. Брайсон А., Хо-Ю-Ши. Прикладная теория оптимального управления, М.:Мир, 1972, 544с.
13. Алиев Ф.А. Задача оптимизации с двухточечными краевыми условиями, Изв. АН СССР, сер. Техн.Кибернетика, №6, 1985, с.47-59.

Qazlift prosesinin optimal rejiminin təyini üçün qoyulmuş rəqəmsal minimaks məsələsinin həll alqoritmi

F.Ə. Əliyev, P. Əsədullayev, N.A. İsmayilov

XÜLASƏ

Qazlift istismarında quyuların iş rejiminin təyini üçün rəqəmsal minimaks məsələsi qoyulur. Diskret Eylər-Laqranj tənlikləri həll edilərək ümumi riyazi model verilir. Qeyri-xətti (müstəvi halı üçün) hal üçün həll alqoritmi verilir. Optimallaşdırma məsələsinin həlli üçün qradiyent üsulu vasitəsilə uyğun hesablama alqoritmi təklif edilir. Hesablama nəticələrinin istehsalatdan məlum olan statistika göstəriciləri ilə üst-üstə düşdüyü göstərilir.

Açar sözlər: minimaks, Eylər-Laqranj tənliyi, diskretləşdirmə, qovma üsulu.

Algorithm to the solution of the digital minimax problem of definition of an optimum mode for gaslift

F.A. Aliev, P. Esadullaev, N.A. Ismailov

ABSTRACT

The digital minimax problem for mode definition of gaslift and by means of decisions of the corresponding discrete equations of Euler-Lagranzh is formed, their general mathematical representation is resulted. The computing algorithm on an example of a flat nonlinear case where it is used the gradient algorithm for the decision of a corresponding problem of optimization Is offered. It is shown that numerical results coincide with earlier known trade data, i.e. statistical supervision.

Keywords: minimax, Euler-Lagrange equation, discretization, sweep method.