

7. Лазарев В.И. Очистка газов от сернистых соединений твердыми сорбентами. В сборнике «Газохимия в XXI веке. Проблемы и перспективы». - М.: Нефть и газ, 2013. - С. 251-260.

РЕЗЮМЕ. Ушбу мақолада табиий газни қуритиш технологик схемаси ишлаб чиқилган бўлиб, ушбу технологик схемага асосан бир адсорберда табиий газни қуритиш жараёни борса, бу вақтда бошқасида иссиқ газ ёрдамида регенерация ва киздирилмаган газ ёрдамида совутиш жараёни компрессор ёрдамида циркуляция ҳосил қилиш орқали амалга оширилади.

РЕЗЮМЕ. В данной статье разработана технологическая схема осушки природного газа, согласно этой технологической схеме, если осуществляется процесс осушки природного газа в одном адсорбере, то в другом осуществляется процесс регенерации с использованием горячего газа, а в процессе осушки с помощью неотогретого газа осуществляется путем создания цикла с использованием компрессора.

SUMMARY. In this article, a technological scheme for drying natural gas has been developed, according to this technological scheme, if the process of drying natural gas is carried out in one adsorber, then the regeneration process using hot gas is carried out in the other, and in the drying process using unheated gas is carried out by creating a cycle using a compressor.

УДК 517.928

О ДВУСТОРОННИХ ПРИБЛИЖЕНИЯХ К ПЕРИОДИЧЕСКИМ РЕШЕНИЯМ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ТИПА ФРЕДГОЛЬМА

О.Д.Нуржанов – кандидат физико-математических наук, доцент

К.А.Айназаров – магистрант

Каракалпакский государственный университет имени Бердаха

Таянч сўзлар: Фредгольм типидagi интегро-дифференциал тенгламалари, даврий ечимлар, кетма-кет яқинлашишларнинг сонли-аналитик усули.

Ключевые слова: интегро-дифференциальные уравнения типа Фредгольма, периодические решения, численно-аналитический метод последовательных приближений.

Key words: integro-differential equations of the Fredholm type, periodic solutions, numerical-analytic method of successive approximations.

Одним из эффективных методов исследования периодических решений нелинейных систем обыкновенных дифференциальных уравнений является численно-аналитический метод последовательных периодических приближений А. М. Самойленко [1].

В данной работе мы применим к одной системе интегро-дифференциальных уравнений метод двусторонних приближений, который является некоторым обобщением схемы метода А. М. Самойленко [2].

Рассмотрим систему интегро-дифференциальных уравнений вида

$$\frac{dx}{dt} = g(t, x) + \int_0^{\omega} \psi(t, s, x(s)) ds, \quad (1)$$

где $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$; $g(t, x) = (g_1, g_2, \dots, g_n)$, $\psi(t, s, x) = (\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n)$ - периодические по t с периодом T вектор-функции; ω - положительная постоянная, $0 < \omega \leq T$.

Введем обозначения

$$g(t, x) = f(t, x(t), x(t)), \\ \psi(t, s, x) = \varphi(t, s, x(s), x(s))$$

запишем систему (1) в виде

$$\frac{dx}{dt} = f(t, x(t), x(t)) + \int_0^{\omega} \varphi(t, s, x(s), x(s)) ds. \quad (2)$$

Предположим, что выполняются следующие условия:

1) вектор-функции $f(t, x, y)$ и $\varphi(t, s, x, y)$ определены и непрерывны в области

$$t \in R = (-\infty, \infty), \quad s \in R, \quad x, y \in [a, b], \quad (3)$$

$$a = (a_1, a_2, \dots, a_n) \in E_n, \quad b = (b_1, b_2, \dots, b_n) \in E_n,$$

периодичны по t с периодом T и удовлетворяют неравенствам

$$m \leq f(t, x, y) \leq M, \quad m \leq \varphi(t, s, x, y) \leq M, \quad (4)$$

$$m = (m_1, m_2, \dots, m_n) \in E_n, \quad M = (M_1, M_2, \dots, M_n) \in E_n;$$

$$f(t, x, y) \leq f(t, u, v), \quad \varphi(t, s, x, y) \leq \varphi(t, s, u, v), \quad (5)$$

$$x \leq u, \quad y \geq v \quad \text{при } x, y, u, v \in [a, b];$$

2) выполняются неравенства

$$\frac{T\omega_1}{2}(M - m) \leq b - a, \quad \omega_1 = 1 + \omega, \quad (6)$$

$$a + \frac{T\omega_1}{4}(M - m) \leq x_0 \leq b - \frac{T\omega_1}{4}(M - m). \quad (7)$$

3) выполняются неравенства

$$f(t, x', y') - f(t, x'', y'') \leq K_1(x' - x'') + K_2(y' - y''), \quad (8)$$

$$\varphi(t, s, x', y') - \varphi(t, s, x'', y'') \leq K_3(x' - x'') + K_4(y' - y'')$$

для всех $x' \geq x'', y' \geq y'', x', x'', y', y'' \in [a, b]$, где $K_i, i = \overline{1, 4}$ - $(n \times n)$ -мерные матрицы с неотрицательными элементами;

4) наибольшее собственное число $\lambda_{\max}(Q)$ матрицы

$$Q = \frac{T}{3}(K_1 + K_2) + \omega^2 \left(1 - \frac{2\omega}{3T}\right)(K_3 + K_4)$$

меньше единицы:

$$\lambda_{\max}(Q) < 1. \quad (9)$$

Обозначим через $C[0, T]$ множество всех непрерывных функций $x(t)$, $t \in [0, T]$ таких, что

$$x(0) = x(T) = x_0, \quad a \leq x(t) \leq b. \quad (10)$$

При выполнении условий 1) - 4), следуя [1], [2], рассмотрим две последовательности функций $\{u_n(t, x_0)\}$, $\{v_n(t, x_0)\}$, $n = 0, 1, 2, \dots$, определяемых соотношениями

$$\begin{aligned} u_{n+1}(t, x_0) = & x_0 + \left(1 - \frac{t}{T}\right) \int_0^t \left[f(\tau, u_n(\tau, x_0), v_n(\tau, x_0)) + \right. \\ & \left. + \int_0^\omega \varphi(\tau, s, u_n(s, x_0), v_n(s, x_0)) ds \right] d\tau - \\ & - \frac{t}{T} \int_t^T \left[f(\tau, v_n(\tau, x_0), u_n(\tau, x_0)) + \int_0^\omega \varphi(\tau, s, v_n(s, x_0), u_n(s, x_0)) ds \right] d\tau, \\ v_{n+1}(t, x_0) = & x_0 + \left(1 - \frac{t}{T}\right) \int_0^t \left[f(\tau, v_n(\tau, x_0), u_n(\tau, x_0)) + \right. \\ & \left. + \int_0^\omega \varphi(\tau, s, v_n(s, x_0), u_n(s, x_0)) ds \right] d\tau - \\ & - \frac{t}{T} \int_t^T \left[f(\tau, u_n(\tau, x_0), v_n(\tau, x_0)) + \int_0^\omega \varphi(\tau, s, u_n(s, x_0), v_n(s, x_0)) ds \right] d\tau, \end{aligned} \quad (11)$$

где

$$\begin{aligned} u_0(t, x_0) &= x_0 - \frac{\omega_1}{2} \alpha_1(t)(M - m), \\ v_0(t, x_0) &= x_0 + \frac{\omega_1}{2} \alpha_1(t)(M - m), \end{aligned} \quad (12)$$

$$\alpha_1(t) = 2t \left(1 - \frac{t}{T}\right), \quad a + \frac{T\omega_1}{4}(M - m) \leq x_0 \leq b - \frac{T\omega_1}{4}(M - m).$$

Из равенств (12), очевидно, следует, что

$$u_0(t, x_0) \leq v_0(t, x_0). \quad (13)$$

С учетом (7) имеем, что

$$a \leq u_0(t, x_0) \leq v_0(t, x_0) \leq b.$$

Функции $u_0(t, x_0)$ и $v_0(t, x_0)$ непрерывны при $t \in [0, T]$ и

$$u_0(0, x_0) = u_0(T, x_0) = x_0, \quad v_0(0, x_0) = v_0(T, x_0) = x_0.$$

Следовательно, $u_0(t, x_0)$ и $v_0(t, x_0) \in [0, T]$.

Из (11) и (12) следует, что

$$\begin{aligned} u_n(0, x_0) = u_n(T, x_0) = x_0, \quad a \leq u_n(t, x_0) \leq b, \\ v_n(0, x_0) = v_n(T, x_0) = x_0, \quad a \leq v_n(t, x_0) \leq b. \end{aligned} \quad (14)$$

Учитывая (4), (5), (11), (12) легко можно показать, что имеют место соотношения

$$u_0(t, x_0) \leq u_1(t, x_0) \leq \dots \leq u_n(t, x_0) \leq \dots \leq v_n(t, x_0) \leq \dots \leq v_1(t, x_0) \leq v_0(t, x_0). \quad (15)$$

Пусть вектор-функция $x^*(t, x_0) \in [a, b]$ является решением уравнения

$$\begin{aligned} x(t, x_0) = & x_0 + \left(1 - \frac{t}{T}\right) \int_0^t \left[f(\tau, x(\tau, x_0), x(\tau, x_0)) + \right. \\ & \left. + \int_0^\omega \varphi(\tau, s, x(s, x_0), x(s, x_0)) ds \right] d\tau - \\ & - \frac{t}{T} \int_t^T \left[f(\tau, x(\tau, x_0), x(\tau, x_0)) + \right. \\ & \left. + \int_0^\omega \varphi(\tau, s, x(s, x_0), x(s, x_0)) ds \right] d\tau. \end{aligned} \quad (16)$$

Тогда учитывая условий (5), (11) и равенства (12), из соотношения (16) можно получить следующие неравенства

$$\begin{aligned} x^*(t, x_0) &\geq x_0 + \left(1 - \frac{t}{T}\right) \int_0^t \left[f(\tau, a, b) + \int_0^\omega \varphi(\tau, s, a, b) ds \right] d\tau - \\ &- \frac{t}{T} \int_t^T \left[f(\tau, b, a) + \int_0^\omega \varphi(\tau, s, b, a) ds \right] d\tau \geq x_0 + t \left(1 - \frac{t}{T}\right) m\omega_1 - \frac{t}{T} (T-t) M\omega_1 = \\ &= x_0 - \frac{\omega_1}{2} \alpha_1(t) (M-m) = u_0(t, x_0); \\ x^*(t, x_0) &\leq x_0 + \left(1 - \frac{t}{T}\right) \int_0^t \left[f(\tau, b, a) + \int_0^\omega \varphi(\tau, s, b, a) ds \right] d\tau - \\ &- \frac{t}{T} \int_t^T \left[f(\tau, a, b) + \int_0^\omega \varphi(\tau, s, a, b) ds \right] d\tau \leq x_0 + t \left(1 - \frac{t}{T}\right) tM\omega_1 - \frac{t}{T} (T-t) m\omega_1 = \\ &= x_0 + \frac{\omega_1}{2} \alpha_1(t) (M-m) = v_0(t, x_0). \end{aligned}$$

Итак, получаем соотношение

$$u_0(t, x_0) \leq x^*(t, x_0) \leq v_0(t, x_0).$$

При помощи метода математической индукции можно показать, что для всех n выполняется неравенство

$$u_n(t, x_0) \leq x^*(t, x_0) \leq v_n(t, x_0). \quad (17)$$

Поскольку вектор-функции $f(t, x, y)$ и $\varphi(t, s, x, y)$ непрерывны в области (3), то последовательности $\{u_n(t, x_0)\}$, $\{v_n(t, x_0)\}$ равностепенно непрерывны и равномерно ограничены. Кроме того, эти последовательности монотонны и ограничены соответственно сверху и снизу. Поэтому они сходятся к $u^*(t, x_0)$ и $v^*(t, x_0)$. Из неравенства (17) следует неравенство

$$u_n(t, x_0) \leq u^*(t, x_0) \leq x^*(t, x_0) \leq v^*(t, x_0) \leq v_n(t, x_0). \quad (18)$$

Теперь на основании соотношений (11) составим разность $v_n(t, x_0) - u_n(t, x_0)$ и оценим её с помощью неравенств (8). Тогда получим

$$\begin{aligned} v_0(t, x_0) - u_0(t, x_0) &= \alpha_1(t) (M-m), \\ v_1(t, x_0) - u_1(t, x_0) &= \\ &= \left(1 - \frac{t}{T}\right) \int_0^t \left\{ [f(\tau, v_0(\tau, x_0), u_0(\tau, x_0)) - f(\tau, u_0(\tau, x_0), v_0(\tau, x_0))] + \right. \\ &+ \left. \int_0^\omega [\varphi(\tau, s, v_0(s, x_0), u_0(s, x_0)) - \varphi(\tau, s, u_0(s, x_0), v_0(s, x_0))] ds \right\} d\tau - \\ &- \frac{t}{T} \int_t^T \left\{ [f(\tau, v_0(\tau, x_0), u_0(\tau, x_0)) - f(\tau, u_0(\tau, x_0), v_0(\tau, x_0))] + \right. \\ &+ \left. \int_0^\omega [\varphi(\tau, s, v_0(s, x_0), u_0(s, x_0)) - \varphi(\tau, s, u_0(s, x_0), v_0(s, x_0))] ds \right\} d\tau \leq \\ &\leq \left(1 - \frac{t}{T}\right) \int_0^t \left\{ [K_1(v_0(\tau, x_0) - u_0(\tau, x_0)) + K_2(v_0(\tau, x_0) - u_0(\tau, x_0))] + \right. \\ &+ \left. \int_0^\omega [K_3(v_0(s, x_0) - u_0(s, x_0)) + K_4(v_0(s, x_0) - u_0(s, x_0))] ds \right\} d\tau + \\ &+ \frac{t}{T} \int_t^T \left\{ [K_1(v_0(\tau, x_0) - u_0(\tau, x_0)) + K_2(v_0(\tau, x_0) - u_0(\tau, x_0))] + \right. \\ &+ \left. \int_0^\omega [K_3(v_0(s, x_0) - u_0(s, x_0)) + K_4(v_0(s, x_0) - u_0(s, x_0))] ds \right\} d\tau \leq \\ &\leq \left[\left(1 - \frac{t}{T}\right) \int_0^t \alpha_1(\tau) d\tau + \frac{t}{T} \int_t^T \alpha_1(\tau) d\tau \right] (K_1 + K_2) \omega_1 (M-m) + \end{aligned} \quad (19)$$

$$+ \left[\left(1 - \frac{t}{T}\right) \int_0^t d\tau + \frac{t}{T} \int_t^T d\tau \right] (K_3 + K_4) \omega^2 \left(1 - \frac{2\omega}{3T}\right) \omega_1(M - m) \leq \\ \leq \alpha_2(t)(K_1 + K_2) \omega_1(M - m) + \alpha_1(t)(K_3 + K_4) \omega^2 \left(1 - \frac{2\omega}{3T}\right) \omega_1(M - m),$$

где

$$\alpha_2(t) = \left(1 - \frac{t}{T}\right) \int_0^t \alpha_1(\tau) d\tau + \frac{t}{T} \int_t^T \alpha_1(\tau) d\tau \leq \frac{T}{3} \alpha_1(t). \quad (20)$$

С учетом (20) последнее неравенство (19) принимает вид

$$v_1(t, x_0) - u_1(t, x_0) \leq \alpha_1(t) Q(M - m) \omega_1,$$

где $Q = \frac{T}{3}(K_1 + K_2) + \omega^2 \left(1 - \frac{2\omega}{3T}\right)(K_3 + K_4).$

По математической индукции заключаем, что для всех $n = 0, 1, 2, \dots$ справедлива оценка

$$v_n(t, x_0) - u_n(t, x_0) \leq \alpha_1(t) Q^n(M - m) \omega_1. \quad (21)$$

Поскольку согласно условию 4) наибольшее собственное число $\lambda_{\max}(Q)$ матрицы Q меньше единицы, то из неравенства (21) следует, что

$$u^*(t, x_0) = v^*(t, x_0) = \bar{x}^*(t, x_0). \quad (22)$$

Из соотношения (22) видно, что последовательности $\{u_n(t, x_0)\}, \{v_n(t, x_0)\}$ при $n \rightarrow \infty$ стремятся к общему пределу, причем предельная функция $\bar{x}^*(t, x_0)$ является периодическим решением уравнения (16).

Пуст $x = \varphi(t)$ - периодическое с периодом T решение системы уравнений (2), проходящее при $t = 0$ через точку

$$x_0 \in \left[a + \frac{\omega_1 T}{4}(M - m), b - \frac{\omega_1 T}{4}(M - m) \right] \quad (23)$$

и удовлетворяющее уравнение (16). Методом от противного можно доказать единственность этого решения. Следовательно, отсюда следует, что

$$\varphi(t) = \bar{x}^*(t, x_0) = x^*(t, x_0) = u^*(t, x_0) = v^*(t, x_0). \quad (24)$$

Итак, имеет место следующее утверждение.

Теорема. Пусть правая часть системы (2) определена в области (3), удовлетворяет условиям 1) - 4).

Тогда последовательности $\{u_n(t, x_0)\}, \{v_n(t, x_0)\}$, определяемые соотношениями (11), (12), удовлетворяют условиям (14) и соотношениям (15), причем эти последовательности равномерно относительно t, x_0 из (22) сходятся соответственно к функциям $u^*(t, x_0), v^*(t, x_0)$, которые удовлетворяют системе уравнений (16).

Если $x^*(t, x_0) \in [a, b]$ является решением уравнения (16), то справедливы неравенства (18). Кроме того, имеет место оценка (21), предельные функции $u^*(t, x_0), v^*(t, x_0)$ совпадают и для периодического периода T решения $x = \varphi(t)$ системы (2), проходящего при $t = 0$ через точку x_0 из (23) справедливо соотношение (24).

Для выяснения вопроса существования периодических по t с периодом T решений системы (2) введем обозначения

$$\Delta(x_0) = \frac{1}{T} \int_0^T \left[f(t, x^*(t, x_0), x^*(t, x_0)) + \int_0^\omega \varphi(t, s, x^*(s, x_0), x^*(s, x_0)) ds \right] dt, \quad (24) \\ \underline{\Delta}_m(x_0) = \frac{1}{T} \int_0^T \left[f(t, u_m(t, x_0), v_m(t, x_0)) + \int_0^\omega \varphi(t, s, u_m(s, x_0), v_m(s, x_0)) ds \right] dt, \\ \bar{\Delta}_m(x_0) = \frac{1}{T} \int_0^T \left[f(t, v_m(t, x_0), u_m(t, x_0)) + \int_0^\omega \varphi(t, s, v_m(s, x_0), u_m(s, x_0)) ds \right] dt.$$

Пусть $x^*(t, x_0)$ - решение уравнения (16), значит выполняется тождество

$$x^*(t, x_0) = x_0 + \left(1 - \frac{t}{T}\right) \int_0^t \left[f(\tau, x^*(\tau, x_0), x^*(\tau, x_0)) + \int_0^\omega \varphi(\tau, s, x^*(s, x_0), x^*(s, x_0)) ds \right] d\tau - \\ - \frac{t}{T} \int_t^T \left[f(\tau, x^*(\tau, x_0), x^*(\tau, x_0)) + \int_0^\omega \varphi(\tau, s, x^*(s, x_0), x^*(s, x_0)) ds \right] d\tau. \quad (26)$$

Из (16) следует, что при $\Delta(x_0) = 0$ решение системы (26) является и периодическим решением уравнения (2). Поэтому, существование периодических решений уравнения (2) связано с существованием нулей функции $\Delta(x_0)$. Вопрос существования нулей функции $\Delta(x_0)$ решается исходя из функции $\underline{\Delta}_m(x_0)$ или $\bar{\Delta}_m(x_0)$.

Литература

1. Самойленко А.М., Ронто Н.И. Численно-аналитические методы исследования периодических решений. – Киев: «Вища школа», 1976. – С. 180.

2. Курпель Н.С. О двухсторонних приближениях к периодическим решениям дифференциальных уравнений. -Труды V международной конференции по нелинейным колебаниям. // Институт математики АН Украины. – Киев: 1970, Т. 1.

РЕЗЮМЕ. Бу маколада икки томонлама яқинлашишлар усули Фредгольм типдаги интегро-дифференциал тенгламаларнинг даврий ечимларини ўрганиш учун қўлланилади.

РЕЗЮМЕ. В данной работе метод двухсторонних приближений применяется к исследованию периодических решений интегро-дифференциальных уравнений типа Фредгольма.

SUMMARY. In this paper, the method of two-sided approximations is applied to the study of periodic solutions of integro-differential equations of the Fredholm type.

STUDY ON THE COUPLING RELATIONSHIP OF POPULATION, RESOURCES, ENVIRONMENT AND ECONOMY IN HOHHOT-BAOTOU-ORDOS-ULANQAB URBAN AGGLOMERATION

Z.N.Tojiyeva – Doctor of Geographical sciences, professor

Zhao Yongfeng – researcher
National University of Uzbekistan

Zheng Hui – researcher
Jining Normal University

Таянч сўзлар: аҳоли-ресурслар-атроф-муҳит-иктисодиёт, алоканинг координацион модели, фазо-вақт алоқаси, шаҳар агломерацияси.

Ключевые слова: население-ресурсы-окружающая среда-экономика, координационная модель связи, пространственно-временная связь, городская агломерация.

Key words: population-resources-environment-economy, the coupling coordination model, spatio-temporal coupling, urban agglomeration.

Introduction. The coupling and coordinated development among population, resources, environment and economic system is an important issue for regional social economies to achieve high-quality sustainable development. Vigorously promoting the coupling and coordinated development of population, economy, resources and environment system in The HBOUUA is a major issue concerning the new development period of the 14th Five-Year Plan of Inner Mongolia Autonomous Region and taking a new path of high-quality development with ecological priority and green development as the guidance. Located in the central part of The Autonomous Region, HBOUUA is an important plate for ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin, a key development area and a core area for economic development of Inner Mongolia Autonomous Region, and plays an important strategic role in the overall high-quality development of the Autonomous Region and its comprehensive integration into domestic and international markets.

Literature review. Scholars at home and abroad have made many beneficial explorations and practices based on the practical application of coupling coordination theory in population, economy, society, resources and environment, and have always believed that the coordinated development of population, economy, resources and environment is the fundamental path to achieve sustainable development. Foreign studies on the relationship between population, resources, environment and economic development mainly focus on three aspects: [1] The relationship between population and economic development, focusing on the pessimistic population theory represented by Malthus (Malthus 1978), Nelson (Pearl 1920, p.278), Cole and Hoover (Ehrlich., Brassards., Sharp 1972, p.245), which holds that population growth is not conducive to economic development; the population optimism theory represented by Keynes (Board 2002), Hansen (Beckerman 1992, p.84) and Simon (Hu 1980) believes that population growth will drive economic growth. The relevant theories of population and economic development are represented by Inkanan (Simon 1986), Wixel (Pearce., Barber., Miranda 1990), Alfred Sauve (Hettinger and Muthukumara 2000, p.448). And Gora Olin (Hung., Chang., Blackburn 1994) holds that

there is a variable correlation between population and economic development [2].

Study area. HBOUUA is situated in the central and western part of Inner Mongolia with an administrative area of 186,200 square kilometers, accounting for 15.7% of the whole region. There are 37 county-level administrative units under the jurisdiction of the urban agglomeration, including 13 administrative districts and 24 administrative banner counties. The city cluster enriches resources, with proven coal reserves of 265.20 billion tons in 2020, accounting for 51.2 percent of the region. Iron reserves of 2.01 billion tons, accountable for 47.6% of the region. In 2020, the population of permanent residents was 10.015 million, being accountable for 41.6% of the total population of the region, and the proportion of permanent residents was 2.77% higher than that of 2010 [4]. The urbanization rate of permanent residents reached 77.39%, among which the urbanization rate of Hohhot was 79.15%. Baotou and Ulanqab were 86.16%, 77.45% and 59.7% respectively [5]. In 2020, the GDP of HBOUUA is ¥994.86 billion, accounting for 57.5% of the whole region, among which the three cities of Hohhot Baotou Ordos account for 52.5%.

Results and Analysis. From the comprehensive analysis, it can be seen that the time series evolution trend of the comprehensive development index of HBOUUA subsystems of population, economy, resources and environment shows great differences, which can be divided into two basic types: fluctuation rise and fluctuation decline. Gradually began to develop to the evolutionary stage of coordinated development of economic development and population structure, gradually from the past extensive economic development mode to pay attention to the connotation of high-quality development mode for adaptive transformation. At the same time, the sustained growth of industrial waste water, smoke, dust and other environmental pollution problems highlighted increasingly, the contradiction between regional economic development and the natural ecological environment has become increasingly acute. Since the global financial crisis in 2008, HBOUUA has paid ample attention to the protection and construction of natural ecological environment [3]. The provincial economic and energy