Таблица 1. *Технические характеристики установки УПТО-0,12Т*

Наименование показателей	Величина
Производительность по отходам, кг/ч	20–30
Исходная влажность отходов (не более),%	30
Теплота сгорания отходов (не менее), ккал/кг	5000
Потребление газа (горелки ГИИ-15 и запальник), кг/ч	2.3–3.45
Номинальное давление газа перед горелками, кПа	3.0
Температура в камере нагрева шнека (не более), °С	700
Температура в камере дожигания, °С	1250
Температура отходящих дымовых газов (не более), °С	200
Температура нагрева воды в теплоутилизаторе, °С	85
Расход нагреваемой воды, м^3/ч	1.5
Давление нагреваемой воды (не более), МПа	0.3
Номинальная тепловая мощность нагрева воды, МВт	0.12
Объем газовых выбросов продуктов дожигания, нм^3/ч	500
Установленная мощность мотор-редуктора, кВт	0.25
Установленная мощность дымососа, кВт	0.37
Габаритные размеры, мм	
длина	5540
ширина	1550
высота	3100
Масса, кг	4500

Работа камеры нагрева установки заключается в пиролизе утилизируемых отходов по длине нагрева шнека, из которого твердые фракции-продукты пиролиза выгружаются в камеру сжигания 11, а летучие под разрежением дымососа втягиваются в цилиндрическую камеру дожигания 10, расположенную непосредственно над камерой сжигания. Зольный остаток отходов просыпается через колосниковую решетку и периодически удаляется по мере накопления снизу обычным образом.

Режим пиролиза поддерживается и регулируется путем автоматического включения и отключения беспламенных газовых ИК-горелок 4. Нормальная работа излучателя контролируется датчиком наличия пламени. Запуск шнека и дымососа производится автоматически с пульта КИПА. Используемые для нагрева шнека газовые ИК-горелки также включаются с пульта КИПА. Регулирование их мощности производится путем автоматического включения и отключения горелок по заданной температуре в камере нагрева шнека.

Воздух в камеру сжигания поступает и регулируется обычным образом через дверцу снизу колосниковой решетки таким образом, чтобы его общий избыток в камере дожигания не превышал 40% сверх расчетно-стехиометрического объема, при котором обеспечивается требуемая температура дожигания 1250°С. При величине теплоты сгорания отходов менее 5000 ккал/кг требуемая температура дожигания поддерживается за счет работы газового инжекционного запальника 12. Газоснабжение запальника и ИК-горелок осуществляется от баллонной установки сжиженного газа. Работа теплоутилизатора заключается в нагреве воды за счет тепла уходящих дымовых газов, охлаждение которых до температуры 200-250°С является условием работоспособности дымососа и всей установки.

Заключение. В настоящее время огневая утилизация часто осуществляется примитивными методами: туши животных обливают легковоспламеняющимися жидкостями и поджигают. Процесс протекает медленно, практически не контролируется и сопровождается вредными выбросами в атмосферу. Сложившаяся неблагоприятная санитарно-эпидемиологическая ситуация и возможность распространения опасных инфекционных заболеваний животных (птичий грипп, ящур, бешенство и др.) требует принятия дополнительных мер безопасности, к которым относится и оснащение сельхозпредприятий оборудованием для утилизации опасных отходов.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Северянин, В.С. Котлы с пульсирующим горением // Энергетика. Известия вузов. – № 1. – 2001. – С. 79–85.
2. Устройство для термического обезвреживания отходов: Патент BY 2030 U, МПК F 23 G 5/00 / В.С. Северянин, И.А. Черников, М.Г. Горбачева – № 20040571: заявлено 06.12.2004.
3. Бородуля, В.А. Энергетическое использование твердых бытовых отходов / В.А. Бородуля, Л.М. Виноградов, А.Ж. Гребеньков, В.И. Мартынюк // Инженер-механик. – 2007. – № 4. – С. 34–37.

Материал поступил в редакцию 10.03.09

KUSMICH W.W., TIMOSHUK A.L., TETERKIN D.A., WINOGRADOV L.M., MARTINUK W.I. **The equipment for thermal recycling of a dangerous organic waste of the enterprises of agriculture**

One of the most simple expedients of intensive effect on a utilised material is create of a nonstationary behaviour of burn - pulsing burn. The equipment using such principle of incineration of fuel, possesses a number of advantages in relation to traditional furnace arrangements. In particular those are: small specific consumption of materials; lowering of a current consumption for natural needs; a burning and convective heat convection intensification; refining operation on heating surfaces; lowering of ejections of oxides of nitrogen, hydrocarbon black

УДК 50.83:681.03

Шведовский П.В.

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПО ОГРАНИЧЕННОМУ ЧИСЛУ НАБЛЮДЕНИЙ

Введение. Для ряда последних лет стало характерным проявление целого ряда климатических и, соответственно, экологических экстремальных аномалий. Ограниченный объём исходной информации и отсутствие априорных сведений о законах распределения параметров аномалий такого уровня не позволяют использовать традиционные методы их статистических оценок.

Это и обуславливает необходимость поиска нового подхода к оценке экологических параметров, используя принципы максимума неопределённости и математической микростатистики.

Материалы и методика исследований. Важнейшей числовой характеристикой любой случайной величины является математическое ожидание ($E[x]$)

$$E[x] = \int x(p)\cdot dp\,;\; E[x] = \int x\cdot p(x)\cdot dx\,, \qquad (1)$$

где $p(x)$ – плотность вероятности, $x(p)$ – квантильная функция случайных значений экологических параметров.

Так как для ограниченного числа наблюдений определить плотность вероятности $p(x)$ затруднительно, то целесообразно имеющейся выборке x_i поставить в соответствие эмпирическую функцию распределения $P_n(x)$ –

$$P_n(x) = \begin{vmatrix} 0, & x \le x_1^{(n)} \\ \dfrac{k}{n} > x_k^{(n)} \le x_{k+1}^{(n)} \\ 1, & x > x_n^{(n)} \end{vmatrix} \qquad (2)$$

По закону больших чисел эта функция распределения сходится по вероятности к исходному теоретическому распределению, что позволяет для определения $E[x]$ использовать бутстреп-процедуры, т.е. многократно тиражировать случайные величины x_i , i = 1,…,n и использовать полученные данные для расчета величин экологических параметров.

Однако, имея в виду, что многократное тиражирование зачастую порождает неоднозначность значений случайной величины на интервалах, необходимо вводить в рассмотрение сглаженную функцию квантилей распределения оценки параметра

$$x_p = \sum_{k=0}^{n-1} C_k \cdot p^k\,, \qquad (3)$$

коэффициенты которой удовлетворяют системе неравенств, определяемых эмпирической функцией распределения наблюдённых случайных величин (2).

Неоднозначность выбора коэффициентов ряда x_p можно преодолеть, рассматривая в качестве меры неопределенности энтропию Шеннона –

$$H_E = -\int_{-\infty}^{\infty} p(x)\cdot \ell np(x)\cdot dx\,, \qquad (4)$$

С учетом ограничений функции распределения $P_n(x)$ исходная экстремальная задача, через функцию квантилей x_p, редуцируется к виду

$$H_E = \int_{-\infty}^{\infty} ln(\sum_{k=0}^{n-1} k\cdot C_k\cdot p^{k-1})\cdot dp \to \frac{max}{C_k} \qquad (5)$$

$$x_k^{(n)} \le C_0 + C_1\frac{k}{n} + C_2\left(\frac{k}{n}\right)^2 + \ldots + C_{n-1}\left(\frac{k}{n}\right)^{n-1} \le x_{k+1}^{(n)}\,,$$

k=1,…,n.

Решение этой экстремальной задачи позволяет однозначно определить коэффициенты функции квантилей x_p.

Экстремум энтропии H_E может достигаться как на экстремалях, лежащих в области определяемой системой неравенств (5), так и на границах этой области.

Отсюда последовательность статической оценки математического ожидания экологических параметров по ограниченному числу наблюдений будет следующей:

- по выборке x_1, x_2,…x_n строим вариационный ряд $x_1^{(n)} \le x_2^{(n)} \le \ldots \le x_n^{(n)}$ и формируем область существования экстремалей в виде системы неравенств

$$x_k^{(n)} \le C_0 + C_1\frac{n}{k} + \ldots + C_{n-1}\left(\frac{k}{n}\right)^{n-1} \le x_{k+1}^{(n)},\; k=1,\ldots,n; \qquad (6)$$

- определяем границы области экстремалей:
  левой границы

$$a_0 + a_1\frac{k}{n} + \ldots + a_n\left(\frac{k}{n}\right)^{n-1} = x_k^{(n)},\; k=1,\ldots,n \qquad (7)$$

  правой границы

$$b_0 + b_1\frac{k}{n} + \ldots + b_n\left(\frac{k}{n}\right)^{n-1} = x_k^{(n)},\; k=1,\ldots,n \qquad (8)$$

- определяем область допустимых решений и существование общей касательной к границам областей экстремалей, используя принцип равенства производных квантильных функций

$$a_1 + 2a_2p + \ldots + (n-1)a_{n-1}\cdot p^{n-2} =$$
$$= b_1 + 2b_2p + \ldots + (n-2)b_{n-1}\cdot p^{n-3} \qquad (9)$$

- для возможных экстремалей определяем значения энтропии:
  левой границы

$$H_E^{(1)} = \int_0^1 \ln(\sum_{k=0}^{n-1} k\cdot a_k\cdot p^{k-1})\cdot dp \qquad (10)$$

  правой границы

$$H_E^{(2)} = \int_0^1 \ln(\sum_{k=0}^{n-2} k\cdot b_k\cdot p^{k-1})\cdot dp \qquad (11)$$

  кусочной экстремали

$$H_E^{(3)} = \int_0^{p_1} ln(\sum_{k=0}^{n-2} k\cdot a_k\cdot p^{k-1})\cdot dp + \ldots +$$
$$\int_{p_1}^{1} ln(\sum_{k=0}^{n-2} k\cdot b_k\cdot p^{k-1})\cdot dp\,, \qquad (12)$$

где p_1 и p_2 – точки касания экстремалей и кривых, определяющих область допустимых решений.

- принимаем расчетную величину энтропии (наибольшую из всех возможных) и вычисляем оценку математического ожидания

$$E[x] = \sum_{k=0}^{n-1}\frac{C_k}{k+1}\,. \qquad (13)$$

Следует отметить, что определённая оценка $E[x]$ является точечной, а не интервальной. Точность же оценки и вероятность ошибки можно выявить только при знании границ доверительных интервалов, т.е. определении уровня значимости (α) и коэффициента доверия ($1-\alpha$). При этом уровень значимости представим в виде – $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$, где α_i – вероятность того, истинное значение параметра окажется слева (i=1) или справа (i=2) от интервала.

При известном виде плотности θ доверительные интервалы можно определить решением следующей системы уравнений:

$$a_1 = \int_{-\infty}^{\theta_H} f(\theta)\cdot d\theta\,;\; a_2 = \int_{\theta_b}^{+\infty} f(\theta)\cdot d\theta\,, \qquad (14)$$

где $\theta_н$ и $\theta_в$ – нижняя и верхняя границы доверительного интервала, в качестве которых целесообразно принимать квантили распределения параметра по соответствующему уровню.

Используя аналитический аппарат характеристических функций и приняв, что характеристическая функция действительного переменного типа

$$\varphi_x(t) = E\left[e^{itx}\right] = \int_0^1 e^{itx} dF(x)\,, \qquad (15)$$

где $F(x)$ – функция распределения, можно определить характеристическую функцию среднего значения оценки $\overline{x}$ –

$$\varphi_{\overline{x}}(t) = \left[\varphi_x(\frac{t}{n})\right]^n \qquad (16)$$

и через формулу обращения получить плотность распределения выборочного среднего –

$$f(\overline{x}) = \frac{1}{2\pi}\cdot\int_{-\infty}^{\infty} e^{-itx}\cdot\varphi_{\overline{x}}(t)\cdot dt\,. \qquad (17)$$

Таблица 1. *Значений критической статистики ($T_{кр}$) для α=0,05*

$\frac{S_x^2}{S_y^2}$ / m,n	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9
m=n=3	1,937	2,076	2,223	2,387	2,463	2,550
m=n=5	1,033	1,045	1,075	1,091	1,228	1,121
m=n=7	0,773	0,778	0,791	0,798	0,814	0,823

Таблица 2. *Значение критической статистики ($T_{кр}$) в зависимости от объема выборки (α=0,05)*

m/n / $\frac{S_x^2}{S_y^2}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{4}{4}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{5}{3}$
0,1	0,806	0,996	1,241	2,104	1,416	1,473
0,5	0,902	1,075	1,393	2,223	1,482	1,494
0,7	0,912	1,124	1,402	2,279	1,496	1,503
0,9	0,948	1,192	1,428	2,316	1,502	1,519

Однако в условиях малых выборок при $n \to \infty$ формула обращения не позволяет представить плотность распределения $f(\bar{x})$ в аналитическом виде. Поэтому поиск доверительных интервалов целесообразно осуществлять по характеристическим функциям с помощью операторных рядов через оператор

$$D = \frac{1}{\varphi(x)} \cdot \frac{d}{dx}, \quad (18)$$

имеющий ограничение –

$$\beta = f(x_0) \lim_{0 \to \infty} \frac{(\nu + 1) \cdot D^{\nu}_{x|x=x_0}}{\frac{d}{dx} \cdot D^{\nu}_{x|x=x_0}};$$

$$D_x^0 = x; \; F^{-1}(x) = P; \; \left|P - F(x_0)\right| \le \beta. \quad (19)$$

Отсюда критическая область может быть представлена в виде

$$\frac{\bar{y} - \bar{x}}{\sqrt{S_x^2 + S_y^2}} \ge q\left(\frac{S_x^2}{S_y^2}, \alpha, m, n\right), \quad (20)$$

где α – уровень значимости; $S_x, S_y, \bar{y}, \bar{x}$ – случайные величины (достаточные статистики), что определяет значение критической статистики ($T_{кр}$).

Анализ результатов исследований. Выполненные расчеты по определению критического значения статистики ($T_{кр}$) в зависимости от уровня значимости (α), объёма выборки (n) и соотношения выборочных дисперсий $\left(\frac{S_x^2}{S_y^2}\right)$ (табл. 1 и табл. 2) позволяет отметить слабую зависимость границы критической области от соотношения дисперсий.

Рассмотрим эту методику на конкретном примере.

Предварительными пятью случайными наблюдениями были зафиксированы следующие значения концентрации вредных веществ в р. Мухавец – $\bar{x} = 2,3$ *мг/л* со среднеквадратическим отклонением S_x=0,29 *мг/л.* Обследования показали, что наиболее возможными причинами являются несанкционированные сбросы неочищенных стоков одним из промышленных предприятий, из-за аварийного состояния локальных очистных сооружений.

После обеспечения их нормальной работоспособности снова были взяты три пробы, показавшие, что концентрация вредных веществ $\bar{x} = 1,7$ *мг/л* со среднеквадратическим отклонением S_x=0,39 *мг/л.* Необходимо определить, имеет ли место факт снижения концентрации вредных веществ и достоверно ли был выявлен экологический «нарушитель».

Имеем: $$T_p = \frac{5-3}{\sqrt{0,29^2 + 0,39^2}} = 8,5.$$

По табл. 2 для m=5, n=3 и $\frac{S_x^2}{S_y^2}$=0,53, $T_{кр}$=1,492.

Так как T_p=8,5 > $T_{кр}$=1,492, то в предложении о экологическом «нарушителе» нет противоречий.

Заключение. Разработка методики оценки параметров по ограниченному числу наблюдений сегодня более чем актуальная для решения важнейших научных и практических экологических проблем регионов и даже стран.

Полученные теоретические результаты расширят существующие возможности практического использования прикладных методов исследования абсолютного большинства экологических процессов. Предложенные аналитические решения с достоверностью, достаточной для практического применения, позволяют дать первичную прогнозную оценку экологических параметров даже при ограниченном числе наблюдений.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гумбель, Э. Статистика экстремальных значений. – М.: Мир, 1965. – 423 с.
2. Ивченко, Б.П. Теоретические основы информационно-статистического анализа сложных систем / Б.П. Ивченко, Л.А. Мартыщенко, М.Л. Монастырский. – СПб: Лань, 1997. – 396 с.
3. Мартыщенко, Л.А. Экстремальное распределение экстремальных случайных величин. – Л.: Мир, 1989. – 189 с.
4. Рамачандран, М. Теория характеристических ифункций. – М.: Мир, 1987. – 316 с.

Материал поступил в редакцию 12.03.09

SHVEDOVSKY P.V. **Features of an estimation of ecological parameters on the limited number of supervision**

In clause the theoretical results allowing are shined to expand existing opportunities of applied methods of the absolute majority of ecological processes. The analytical decisions allowing are offered to give primary, but objective enough and authentic estimation of ecological parameters at the limited number of supervision.