

УЧЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ ПРЕДПРИЯТИЯ

Иванилов В.В., студ.; Хламов М.Г., проф., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г.Донецк, ДНР)

Значение воды невозможно переоценить в жизни всего живого на Земле. Являясь преобладающим элементом в составе любого организма, вода руководит и его жизнедеятельностью. В настоящее время экологическая проблема загрязнения водных объектов является наиболее актуальной. Качественное и количественное определение состава загрязнений в стоках необходимо не только для выбора технологии их очистки, но и для соблюдения норм сброса очищенных сточных вод в водоемы.

Нефть и нефтепродукты (НП) являются одним из основных видов загрязнения сточных вод. По этому перед всеми отраслями промышленности стоит задача контроля выброса загрязняющих веществ (нефть и ее фракции) в окружающую среду.

Основная идея разрабатываемого прибора, оптоэлектронный преобразователь, где оптическое излучение взаимодействует с НП, формируется аналитический сигнал, представляя спектр излучения. Для моделирования этого процесса используем математическую модель.

Математические модели играют важную роль при изучении различных явлений и создании новых технических систем. Еще несколько десятилетий назад, при проектировании сложных объектов использовали в основном физические модели - макеты, уменьшенные копии этих объектов. На этих макетах проводили многочисленные эксперименты, выявляли сильные и слабые стороны проекта, полученные результаты затем использовали при создании полномасштабных объектов.

В настоящее время благодаря успехам вычислительной техники и наличию разнообразных математических моделей, стало возможным вместо натуральных макетов проводить вычислительные эксперименты, которые имеют преимущества над первыми. Они существенно удешевляют и ускоряют процесс проектирования, позволяя проверить, как будет вести себя проектируемый объект в ситуациях, которые трудно организовать в натуральных условиях. Кроме того, вычислительный эксперимент, позволяет найти оптимальные решения, вследствие быстрогодействия компьютерной техники. Многочисленные примеры таких экспериментов можно найти в книге [1].

Несмотря на достоинства таких экспериментов, без натурной модели обойтись полностью нельзя. Они, прежде всего, нужны для построения математических моделей таких явлений и процессов, которые слабо изучены. Рассмотрим некоторые положения теории планирования эксперимента и задачи, такие как организовать эксперимент и обработку его результатов, чтобы извлечь из них максимум информации [2].

Задачей же является определение нефтепродуктов в сточных водах предприятий. Для определения используем метод инфракрасной – спектрометрии. Определение содержания нефтепродуктов по этому методу основано на выделении нефтяных компонентов экстракцией четыреххлористым углеродом, хроматографическом отделении углеводородов от соединений других классов в колонке с оксидом алюминия и количественном их определении по интенсивности поглощения С-Н связей метиленовых (-CH₂-) и метильных (-CH₃-) групп в инфракрасной области спектра (2 930 ± 70) см⁻¹.

Данный метод позволяет делать эффективную оценку нефтяного загрязнения, осуществлять непосредственный мониторинг загрязнений нефтяными углеводородами без потери каких-либо фракций и гарантирует достоверность, воспроизводимость и точность результатов измерений. Недостатки: невозможность регистрации слабых сигналов из-за

малого отношения сигнал: шум, что имеет место при концентрации нефтепродуктов в сотые доли предельно допустимой концентрации (ПДК) и менее.

Согласно методу ИК-спектрометрии вещество характеризуется: частотно-зависимым коэффициентом поглощения $\varepsilon(\lambda)$. Для простых веществ спектр поглощения носит характер гауссианы, для сложных веществ это набор простых составляющих, взятых в определённых пропорциях. В результате такого смешения компонентов, спектр получается сложного вида, но все спектры по виду индивидуальны, и по виду спектра можно идентифицировать вещество.

Но любые измерения сопровождаются большими или меньшими погрешностями, что позволяет рассматривать результаты измерений как совокупность случайных величин.

Одной из важнейших метрологических характеристик случайной величины является дисперсия, которая показывает степень ее сосредоточенности относительно среднего значения. В нашем случае дисперсия позволяет оценить погрешность в измерениях и точность системы.

В процессе выполнения настоящей работы было разработана и промоделирована математическая модель измерения концентрации нефтепродуктов в сточных водах предприятия. В ней исследовались канал измерения рН жидкостей и канал измерения температуры, которые дают основную погрешность системы измерения.

Математическая модель канала измерения рН жидкостей:

$$\text{kod} := 0..1024 \quad \text{tl}(\text{kod}) := \sum_{q=0}^m A_q \cdot \text{kod}^q \quad (1)$$

Метрологические характеристики канала рН:

$$m\varepsilon := \frac{1}{n+1} \cdot \sum_{k=0}^n \varepsilon_k \quad \sigma\varepsilon := \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{k=0}^n (\varepsilon_k - m\varepsilon)^2} \quad \varepsilon_{\max} := |m\varepsilon| + t\beta \cdot \sigma\varepsilon \quad \gamma_{\max} := 100 \cdot \frac{\varepsilon_{\max}}{\text{pHМ} - \text{pHм}} \quad (2)$$

Результаты представлены в табл.1.

Таблица 1 – Результаты моделирования

Среднее значение погрешности, ед. рН	0,01
С.к.о. погрешности, ед. рН	0,06
Максимальное значение погрешности, ед. рН	0,2
Максимальное значение приведенной погрешности, %	1,2

Математическая модель канала измерения температуры Т:

$$\text{kod} := 0..1024 \quad \text{T}_{\text{группизм}_k} := \sum_{q=0}^m A1_q \cdot (\text{KOD}10G_k)^q \quad (3)$$

Метрологические характеристики канала рН:

$$m\varepsilon := \frac{1}{n+1} \cdot \sum_{k=0}^n \varepsilon_k \quad \sigma\varepsilon := \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{k=0}^n (\varepsilon_k - m\varepsilon)^2} \quad \varepsilon_{\max} := |m\varepsilon| + t\beta \cdot \sigma\varepsilon \quad \gamma_{\max} := 100 \cdot \frac{\varepsilon_{\max}}{TМ - Tм} \quad (4)$$

Результаты представлены в табл.2.

Таблица 2 – Результаты моделирования

Среднее значение погрешности, °С	0,02
С.к.о. погрешности, °С	0,09
Максимальное значение погрешности, °С	0,3
Максимальное значение приведенной погрешности, %	0,9

На основе полученных данных можем сказать, что каналы настроены правильно. Рассмотрим возможность объединения каналов в одну математическую модель, зафиксировав один из параметров, а другой оставляем независимым. Для примера зафиксируем канал pH на значениях: 2,4,6,8,10; а температуру измеряем в диапазоне 10-30°C с шагом в 2°C. Математическая модель имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 m &:= 1 & n &:= 10 & i &:= 0..m & j &:= 0..m & k &:= 5..n \\
 AX_{i,j} &:= \sum_{k=5}^n (X_k)^{i+j} & FX_i &:= \sum_{k=5}^n [Y_k \cdot (X_k)^i] & A &:= AX^{-1} \cdot FX
 \end{aligned} \tag{5}$$

Зависимости коэффициентов температуры и pH от концентрации нефтепродуктов представлены на рис. 1-2.

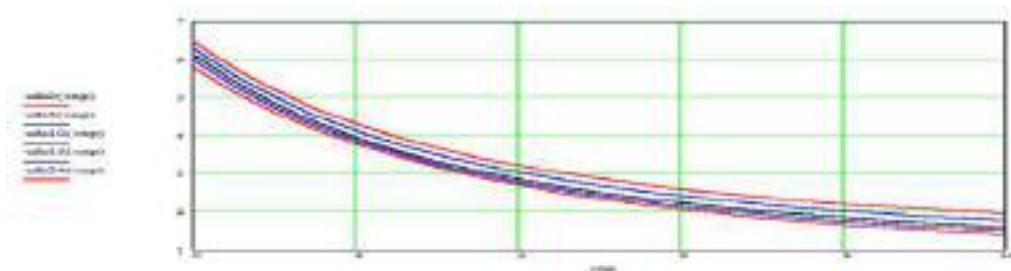


Рисунок 1 – Зависимость для pH=2.

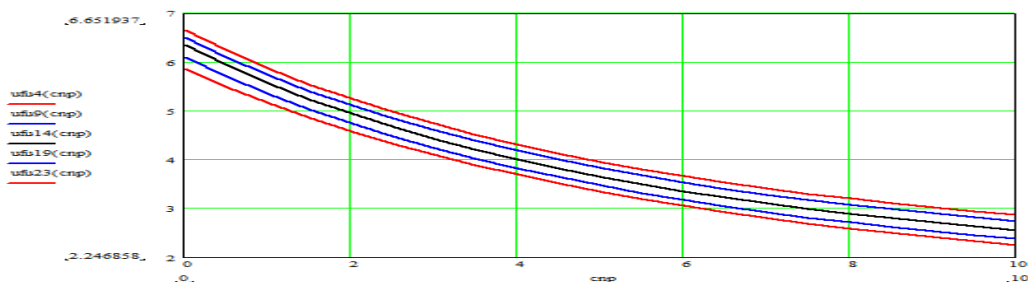


Рисунок 2 – Зависимость для pH=10.

Погрешности расхождения составили:

для pH=2	для pH=4	для pH=6	для pH=8	для pH=10
36.846279	36.983871	36.943781	38.098734	39.437902
30.679125	29.25	30.843207	31.913764	32.469704
0.234444	0.222222	0.233444	0.246973	0.253978
6.294386	5.963542	6.336781	7.267940	7.978301
6.738943	6.269542	6.814960	7.934807	8.267904

На основе полученных данных можно сделать вывод, что происходит влияние экологических параметров, таких как температуры и кислотно-щелочной баланс на концентрацию нефтепродуктов. Проведем полно факторный эксперимент. Это такой эксперимент, в котором каждый из факторов независим, и лежит в пределах 2-10 для кислотно-щелочного баланса и 10-30°C для температуры. Математическая модель будет иметь следующий вид.

$$\begin{aligned}
 i &:= 0..kn - 1 \\
 m &:= 3 \\
 AA_{20} &:= \begin{pmatrix} 1.67700548 \\ 0.01064038 \\ -6.14574227 \times 10^{-8} \\ 4.87399193 \times 10^{-11} \end{pmatrix} \\
 pH_{Низм20_i} &:= \sum_{q=0}^m AA_{20_q} \cdot (KOD10_i)^q
 \end{aligned}$$

$$\epsilon_{ph_i} := pH_{Низм20_i} - pH_{Экв_i}$$

(6)

$$\begin{aligned}
 ATF &:= -0.023721 & BTF &:= \begin{pmatrix} -0.078632 \\ 4.749167 \times 10^{-3} \\ -4.689333 \times 10^{-5} \\ 2.266667 \times 10^{-8} \end{pmatrix} & pH_{изм}T_i &:= \frac{(p_{Низм}20_i - ATF)}{\left[1 + \sum_{j=0}^3 BTF_j \cdot (T_{изм}T_i)^j \right]} \\
 \varepsilon T_i &:= pH_{изм}T_i - p_{Низм}T_i
 \end{aligned} \tag{6}$$

Метрологические параметры системы измерения:

$$\begin{aligned}
 t\beta &:= 1.96 & n &:= kn - 1 \\
 \varepsilon T_{cp} &:= \frac{1}{n+1} \cdot \sum_{k=0}^n \varepsilon T_k & \sigma \varepsilon T &:= \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{k=0}^n (\varepsilon T_k - \varepsilon T_{cp})^2} & \varepsilon_{max} T &:= |\varepsilon T_{cp}| + \sigma \varepsilon T \cdot t\beta & \gamma_{max} T &:= 100 \cdot \frac{\varepsilon_{max} T}{p_{HM} - p_{Hm}}
 \end{aligned} \tag{7}$$

Результаты представлены в табл.3.

Таблица 3 – Результаты моделирования

Среднее значение погрешности, ед. рН	0,006
С.к.о. погрешности, ед. рН	0,08
Максимальное значение погрешности, ед. рН	0,17
Максимальное значение приведенной погрешности, %	1,5

Максимальное значение приведенной погрешности составило 1,5%, это свидетельствует о нескорректированной системе. Проведем корректировку и получим следующие результаты моделирования табл.4.

Таблица 4 – Результаты моделирования

Среднее значение погрешности, ед. рН	0,005
С.к.о. погрешности, ед. рН	0,013
Максимальное значение погрешности, ед. рН	0,06
Максимальное значение приведенной погрешности, %	0,6

Введение коррекции по температуре дает уменьшение максимального значение приведенной погрешности измерения в 2.6 раза.

В результате выполнения работы разработан и математически описан бездисперсионный спектрометрический измерительный преобразователь нефти и ее фракций, так же и нефтепродуктов. Предложен вариант реализации математической модели с учетом в измерительном процессе дестабилизирующих неблагоприятных экологических факторов, таких как: температура окружающей среды, влияющая на процесс формирования аналитического сигнала и кислотно-щелочной баланс пробы. Были установлены метрологические характеристики математической модели. На базе этой модели можно проектировать прибор измерения концентрации нефтепродуктов в сточных водах предприятия.

Для микропроцессорного устройства необходима разработка алгоритмов выполнения автоматического измерений и программного сопровождения, обеспечивающего уровень интеллекта средства измерения. Погрешности измерения прибора могут быть сведены к аддитивной и мультипликативной составляющей и в процессе анализа автоматически устраняться.

Перечень ссылок

1. Неймарк, Ю. И. Простые математические модели и их роль в постижении мира / Ю. И. Неймарк // Соросовский Образовательный Журнал. - 1997. - №3. - С. 139-143.
2. Маврищев, В. В. Основы экологии / В. В. Маврищев. – Минск, 2007. – 447 с.