

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ВОД ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩА Ерусланова П.А.¹, Кузнецова Ю.А.²

¹Ерусланова Полина Андреевна – магистрант;

²Кузнецова Юлия Анатольевна – кандидат технических наук, доцент,
кафедра строительных конструкций и водоснабжения,
Поволжский государственный технологический университет,
г. Йошкар-Ола

Аннотация: для оценки качества вод водохранилища предложен интегральный показатель на основе функции степенного полинома. В качестве показателей, формирующих интегральный показатель качества вод исследуемого объекта, выбраны: водородный показатель, цветность, жесткость, минерализация, содержание железа, азота и фосфора, величина перманганатной окисляемости, химическое потребление кислорода. Выполнено логарифмирование функции интегрального показателя качества вод. В прикладной программной среде MathCad построены функции отклика - интегрального показателя и их частных производных от аргументов.

Ключевые слова: качество вод, интегральный показатель, степенной полином, функции отклика, MathCad.

APPLICATION OF THE INTEGRAL INDICATOR OF WATER QUALITY FOR ASSESSMENT OF THE STATE OF THE RESERVOIR Eruslanova P.A.¹, Kuznetsova Yu.A.²

¹Eruslanova Polina Andreevna – Master's Degree Student;

²Kuznetsova Yulia Anatolyevna – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor,
CIVIL ENGINEERING AND WATER SUPPLY DEPARTMENT,
VOLGA STATE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,
YOSHKAR-OLA

Abstract: to assess the quality of reservoir waters, an integral indicator based on the function of a power polynomial is proposed. As indicators that form an integral indicator of the water quality of the object under study, the following are selected: pH, color, hardness, mineralization, content of iron, nitrogen and phosphorus, the value of permanganate oxidizability, chemical oxygen consumption. The logarithm of the function of the integral indicator of water quality was performed. In the applied software environment MathCad, the functions of the response-integral indicator and their partial derivatives of the arguments are built.

Keywords: water quality, integral exponent, power polynomial, response functions, MathCad.

УДК 556.114.7

Интенсивное антропогенное воздействие приводит к ухудшению качества водной среды, нарушению водных экосистем, снижению водохозяйственного, рыбохозяйственного и рекреационного состояний водоемов. Наибольший антропогенный пресс испытывают водохранилища. Одним из наиболее загрязненных водохранилищ страны является Чебоксарское водохранилище, эксплуатируемое на пониженной отметке, что влечет за собой ряд проблем, связанных с ухудшением самоочищающей способности, образованием большого количества мелководий. В этой связи оценка источников воздействия и разработка мероприятий по оптимизации природопользования водохранилища является актуальной задачей.

Цель работы заключается в оценке состояния Чебоксарского водохранилища и динамики изменения его качественных показателей на основе применения интегрального показателя качества вод [5].

Решение системной задачи выполняется с применением автоматизированной среды MathCad [3].

Новизна работы состоит в автоматизации статистического анализа качественных характеристик водохранилища для построения интегрального показателя на основе мультипликативных функций [1].

Качество природных вод в данной работе оценивается интегральным показателем на основе степенного полинома [4].

Загрязнения природных вод обычно анализируются в безразмерном виде в результате их сравнения с ПДК.

Для дальнейшего анализа параметры интегрального показателя определены следующим образом: рН - водородный показатель; С - цветность; Н - жесткость; М - минерализация; Fe - содержание железа; N - содержание азота; Р - содержание фосфора; РО - перманганатная окисляемость; НРК - химическое потребление кислорода [2].

Численные значения показателя степени качества вод вычислены методом наименьших квадратов в онлайн-калькуляторе множественной регрессии.

Интегральный показатель качества вод имеет

вид $I = a \cdot \text{pH}^b \cdot C^c \cdot H^d \cdot M^e \cdot \text{Fe}^f \cdot N^g \cdot P^h \cdot \text{PO}^i \cdot \text{HPK}^j$, где обозначено: pH - водородный показатель (логарифм концентрации ионов водорода, взятый с обратным знаком, $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$); C - цветность; H - жесткость; M - минерализация; Fe - содержание железа; N - содержание азота; P - содержание фосфора; PO - перманганатная окисляемость; HPK - химическое потребление кислорода. Степени интегрального показателя в уравнении регрессии равны:

$$a = -15.2238 \quad b = 3.1011 \quad c = 0.9495 \quad d = 4.9221 \quad e = -1.2908$$

$$f = -7.4153 \quad g = 5.239 \quad h = -0.6361 \quad i = 2.7775 \quad j = -3.6697$$

Функция логарифма максимального интегрального показателя

$$I = -15.2238 + 3.1011X_1 + 0.9495X_2 + 4.9221X_3 - 1.2908X_4 - 7.4153X_5 + 5.239X_6 - 0.6361X_7 + 2.7775X_8 - 3.6697X_9$$

Функция отклика - интегрального показателя от аргумента pH

$$I(\text{pH}) := a \cdot \text{pH}^b \cdot C^c \cdot H^d \cdot M^e \cdot \text{Fe}^f \cdot N^g \cdot P^h \cdot \text{PO}^i \cdot \text{HPK}^j$$

$$I(\text{pH}) \rightarrow \frac{15.2238 \cdot C^{0.9495} \cdot H^{4.9221} \cdot N^{5.239} \cdot \text{PO}^{2.7775} \cdot \text{pH}^{3.1011}}{\text{Fe}^{7.4153} \cdot \text{HPK}^{3.6697} \cdot M^{1.2908} \cdot P^{0.6361}}$$

Многофакторная функция производной отклика - интегрального показателя от аргумента pH

$$\frac{d}{d\text{pH}} I(\text{pH}) \rightarrow \frac{47.21052618 \cdot C^{0.9495} \cdot H^{4.9221} \cdot N^{5.239} \cdot \text{PO}^{2.7775} \cdot \text{pH}^{2.1011}}{\text{Fe}^{7.4153} \cdot \text{HPK}^{3.6697} \cdot M^{1.2908} \cdot P^{0.6361}}$$

Функция отклика - интегрального показателя от аргумента pH

$$I(\text{pH}) := \text{pH}^b \quad \frac{d}{d\text{pH}} I(\text{pH}) \rightarrow 3.1011 \cdot \text{pH}^{2.1011} \quad \Gamma(\text{pH}) := 3.1011 \cdot \text{pH}^{2.1011}$$

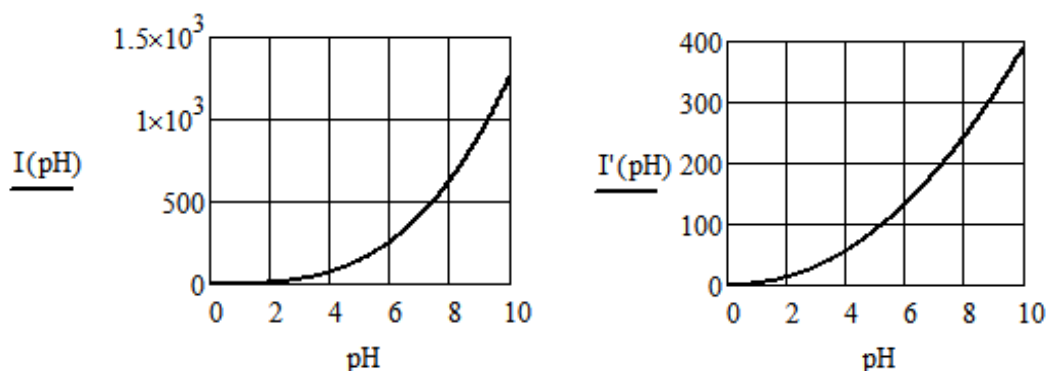


Рис. 1. Однофакторная функция отклика - интегрального показателя от аргумента pH и его частной производной

Многофакторная функция отклика - интегрального показателя от аргумента C

$$I(C) := a \cdot \text{pH}^b \cdot C^c \cdot H^d \cdot M^e \cdot \text{Fe}^f \cdot N^g \cdot P^h \cdot \text{PO}^i \cdot \text{HPK}^j$$

$$I(C) \rightarrow \frac{15.2238 \cdot C^{0.9495} \cdot H^{4.9221} \cdot N^{5.239} \cdot \text{PO}^{2.7775} \cdot \text{pH}^{3.1011}}{\text{Fe}^{7.4153} \cdot \text{HPK}^{3.6697} \cdot M^{1.2908} \cdot P^{0.6361}}$$

Многофакторная функция частной производной отклика - интегрального показателя от аргумента С

$$\frac{d}{dC} I(C) \rightarrow -\frac{14.4549981 \cdot H^{4.9221} \cdot N^{5.239} \cdot PO^{2.7775} \cdot pH^{3.1011}}{C^{0.0505} \cdot Fe^{7.4153} \cdot HPK^{3.6697} \cdot M^{1.2908} \cdot P^{0.6361}}$$

Функция отклика - интегрального показателя от аргумента С

$$I(C) := C^C \quad \frac{d}{dC} I(C) \rightarrow \frac{0.9495}{C^{0.0505}} \quad \Gamma(C) := \frac{0.9495}{C^{0.0505}}$$

Многофакторная функция отклика - интегрального показателя от аргумента Н

$$I(H) := a \cdot pH^b \cdot C^c \cdot H^d \cdot M^e \cdot Fe^f \cdot N^g \cdot P^h \cdot PO^i \cdot HPK^j$$

$$I(H) \rightarrow -\frac{15.2238 \cdot C^{0.9495} \cdot H^{4.9221} \cdot N^{5.239} \cdot PO^{2.7775} \cdot pH^{3.1011}}{Fe^{7.4153} \cdot HPK^{3.6697} \cdot M^{1.2908} \cdot P^{0.6361}}$$

Многофакторная функция частной производной отклика - интегрального показателя от аргумента Н

$$\frac{d}{dH} I(H) \rightarrow -\frac{74.93306598 \cdot C^{0.9495} \cdot H^{3.9221} \cdot N^{5.239} \cdot PO^{2.7775} \cdot pH^{3.1011}}{Fe^{7.4153} \cdot HPK^{3.6697} \cdot M^{1.2908} \cdot P^{0.6361}}$$

Зависимость функции отклика - интегрального показателя от аргумента Н

$$I(H) := H^d \quad \frac{d}{dH} I(H) \rightarrow 4.9221 \cdot H^{3.9221} \quad \Gamma(H) := 4.9221 \cdot H^{3.9221}$$

Многофакторная функция отклика - интегрального показателя от аргумента М

$$I(M) := a \cdot pH^b \cdot C^c \cdot H^d \cdot M^e \cdot Fe^f \cdot N^g \cdot P^h \cdot PO^i \cdot HPK^j$$

$$I(M) \rightarrow -\frac{15.2238 \cdot C^{0.9495} \cdot H^{4.9221} \cdot N^{5.239} \cdot PO^{2.7775} \cdot pH^{3.1011}}{Fe^{7.4153} \cdot HPK^{3.6697} \cdot M^{1.2908} \cdot P^{0.6361}}$$

Многофакторная функция частной производной отклика - интегрального показателя от аргумента М

$$\frac{d}{dM} I(M) \rightarrow \frac{19.65088104 \cdot C^{0.9495} \cdot H^{4.9221} \cdot N^{5.239} \cdot PO^{2.7775} \cdot pH^{3.1011}}{Fe^{7.4153} \cdot HPK^{3.6697} \cdot M^{2.2908} \cdot P^{0.6361}}$$

Зависимость функции отклика - интегрального показателя от аргумента М

$$I(M) := M^e \quad \frac{d}{dM} I(M) \rightarrow -\frac{1.2908}{M^{2.2908}} \quad \Gamma(M) := -\frac{1.2908}{M^{2.2908}}$$

Многофакторная функция отклика - интегрального показателя от аргумента Fe

$$\frac{d}{dFe} I(Fe) \rightarrow \frac{112.9 \cdot C^{0.9495} \cdot H^{4.9221} \cdot N^{5.239} \cdot PO^{2.7775} \cdot pH^{3.1011}}{Fe^{8.4153} \cdot HPK^{3.67} \cdot M^{1.291} \cdot P^{0.6361}}$$

Функция отклика - интегрального показателя от аргумента Fe

$$I(Fe) := Fe^f \quad \frac{d}{dFe} I(Fe) \rightarrow -\frac{7.4153}{Fe^{8.4153}} \quad \Gamma(Fe) := -\frac{7.4153}{Fe^{8.4153}}$$

Многофакторная функция отклика - интегрального показателя от аргумента N

$$I(N) := a \cdot \text{pH}^b \cdot C^c \cdot H^d \cdot M^e \cdot Fe^f \cdot N^g \cdot P^h \cdot PO^i \cdot \text{HPK}^j$$

$$I(N) \text{ float , 4} \rightarrow -\frac{15.22 \cdot C^{0.9495} \cdot H^{4.922} \cdot N^{5.239} \cdot PO^{2.777} \cdot \text{pH}^{3.101}}{Fe^{7.415} \cdot \text{HPK}^{3.67} \cdot M^{1.291} \cdot P^{0.6361}}$$

Многофакторная функция частной производной функции отклика - интегрального показателя от аргумента N

$$\frac{d}{dN} I(N) \text{ float , 4} \rightarrow -\frac{79.76 \cdot C^{0.9495} \cdot H^{4.922} \cdot N^{4.239} \cdot PO^{2.777} \cdot \text{pH}^{3.101}}{Fe^{7.415} \cdot \text{HPK}^{3.67} \cdot M^{1.291} \cdot P^{0.6361}}$$

Функция отклика - интегрального показателя от аргумента N

$$I(N) := N^g \quad \frac{d}{dN} I(N) \rightarrow 5.239 \cdot N^{4.239} \quad I'(N) := 5.239 \cdot N^{4.239}$$

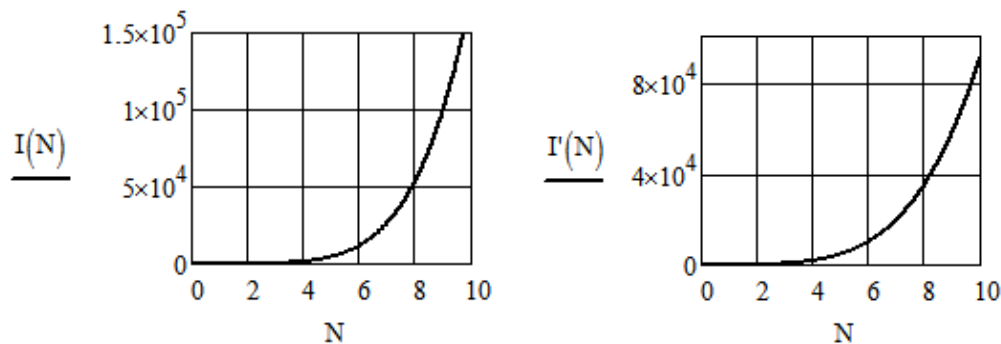


Рис. 2. Однофакторная функция отклика - интегрального показателя от аргумента N и его частной производной

Многофакторная функция отклика - интегрального показателя от аргумента P

$$I(P) := a \cdot \text{pH}^b \cdot C^c \cdot H^d \cdot M^e \cdot Fe^f \cdot N^g \cdot P^h \cdot PO^i \cdot \text{HPK}^j$$

$$I(P) \rightarrow -\frac{15.2238 \cdot C^{0.9495} \cdot H^{4.9221} \cdot N^{5.239} \cdot PO^{2.7775} \cdot \text{pH}^{3.1011}}{Fe^{7.4153} \cdot \text{HPK}^{3.6697} \cdot M^{1.2908} \cdot P^{0.6361}}$$

Многофакторная функция частной производной отклика - интегрального показателя от аргумента P

$$\frac{d}{dP} I(P) \text{ float , 4} \rightarrow \frac{9.684 \cdot C^{0.9495} \cdot H^{4.922} \cdot N^{5.239} \cdot PO^{2.777} \cdot \text{pH}^{3.101}}{Fe^{7.415} \cdot \text{HPK}^{3.67} \cdot M^{1.291} \cdot P^{1.636}}$$

Функция отклика - интегрального показателя от аргумента P

$$I(P) := P^h \quad \frac{d}{dP} I(P) \rightarrow -\frac{0.6361}{P^{1.6361}} \quad I'(P) := -\frac{0.6361}{P^{1.6361}}$$

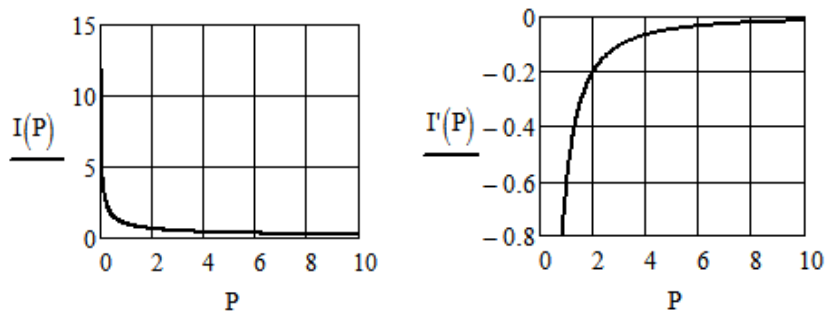


Рис. 3. Однофакторная функция отклика - интегрального показателя от аргумента P и его частной производной

Многофакторная функция отклика - интегрального показателя от аргумента PO

$$I(PO) := a \cdot pH^b \cdot C^c \cdot H^d \cdot M^e \cdot Fe^f \cdot N^g \cdot P^h \cdot PO^i \cdot HPK^j$$

$$I(PO) \text{ float } ,4 \rightarrow -\frac{15.22 \cdot C^{0.9495} \cdot H^{4.922} \cdot N^{5.239} \cdot PO^{2.777} \cdot pH^{3.101}}{Fe^{7.415} \cdot HPK^{3.67} \cdot M^{1.291} \cdot P^{0.6361}}$$

Функция отклика - интегрального показателя от аргумента PO

$$I(PO) := PO^i \quad \frac{d}{dPO} I(PO) \rightarrow 2.7775 \cdot PO^{1.7775} \quad I'(PO) := 2.7775 \cdot PO^{1.7775}$$

Многофакторная функция отклика - интегрального показателя от аргумента HPK

$$I(HPK) := a \cdot pH^b \cdot C^c \cdot H^d \cdot M^e \cdot Fe^f \cdot N^g \cdot P^h \cdot PO^i \cdot HPK^j$$

$$I(HPK) \text{ float } ,4 \rightarrow -\frac{15.22 \cdot C^{0.9495} \cdot H^{4.922} \cdot N^{5.239} \cdot PO^{2.777} \cdot pH^{3.101}}{Fe^{7.415} \cdot HPK^{3.67} \cdot M^{1.291} \cdot P^{0.6361}}$$

Функция отклика - интегрального показателя от аргумента HPK

$$I(HPK) := HPK^j \quad \frac{d}{dHPK} I(HPK) \rightarrow -\frac{3.6697}{HPK^{4.6697}} \quad I'(HPK) := -\frac{3.6697}{HPK^{4.6697}}$$

Выводы.

1. Качество природных вод водохранилища оценивается интегральным показателем на основе степенного полинома, а загрязнения природных вод приводятся в безразмерном виде в результате их сравнения с ПДК.

2. Для составления функции интегрального показателя в качестве аргументов определены: pH - водородный показатель; C - цветность; H - жесткость; M - минерализация; Fe - содержание железа; N - содержание азота; P - содержание фосфора; PO - перманганатная окисляемость; HPK - химическое потребление кислорода.

3. Для улучшения приближения к реальным данным функция максимального интегрального показателя прологарифмирована.

4. Получены многофакторные функции отклика - интегрального показателя и их частных производных от аргументов pH, C, H, M, Fe, N, P, PO и HPK в среде MathCad.

Список литературы / References

1. Кобринский Н.Е. Майминас Е.З., Смирнов А.Д. Введение в экономическую кибернетику. Учебное пособие. М.: Экономика, 1975. 343 с.
2. Кривдина Т.В., Логинов В.В. Многолетняя динамика гидрохимического режима Чебоксарского водохранилища за период с 1980 по 2014 г. // Сборник научных трудов эколого-биологические

особенности Чебоксарского водохранилища и водоемов его бассейна. СПб.: ФГБНУ «ГосНИОРХ», 2015. С. 62–76.

3. *Макаров Е.Г.* Инженерные расчеты в Matchcad: учебный курс. СПб.: Питер, 2003. 448 с.
4. *Тинбэрхэн Я., Бос Х.* Математические модели экономического роста. М.: Прогресс, 1967. 175 с.
5. Чебоксарская ГЭС на Волге. Технический отчет о проектировании, строительстве и первом периоде эксплуатации: альбом чертежей. М.: Гидропроект, Куйбышевский филиал, 1987. 77 с.