

# ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

**Марковский Ю.Е.**

Донецкий национальный технический университет,  
кафедра электронной техники  
E-mail: [yuriy\\_markovskyy@hotmail.com](mailto:yuriy_markovskyy@hotmail.com)

**Abstract:** *Yuriy E Markovskyy. Quick Monitoring of Drinking Water Quality. The article is devoted to the problems on drinking water investigations. The author considers the questions, connected with quick monitoring of drinking water parameters, and gives the example of mathematical simulation of the assessment of the condition of water objects. The first part contains the information on analysis of the problem and system requirement settings. The problems of system configuration are also discussed. The recommendations on the choice of system configuration and components are proposed. The final part is devoted to the example of the use of mathematical simulation in the sphere of water monitoring.*

## **Анализ проблемы и задачи.**

Основным источником питьевого водоснабжения для городов, входящих в состав Донецкой области, население которых составляет около пяти миллионов человек, являются воды рек Северский Донец и Днепр (соответственно каналы Северский Донец – Донбасс, Днепр – Донбасс). Имеющее место в некоторых городах использование месторождений подземных вод как альтернативных источников воды более высокого качества не является определяющим. Аналогичная ситуация исторически сложилась и в большинстве крупных городов Украины.

Анализ ингредиентного состава загрязняющих веществ в поверхностных водах реки Северский Донец свидетельствует о наличии значительного количества техногенных загрязнителей (поверхностно-активные вещества, тяжелые металлы, азотсодержащие и некоторые другие), появление которых в поверхностных водах носит спорадический характер и временами многократно превышает предельно допустимые уровни концентраций (ПДК).

Данную ситуацию усугубляет то обстоятельство, что малые реки вышеупомянутой области несут непомерно высокую техногенную нагрузку. Значительное количество их находится на пределе потенциала самовосстановления, а некоторые, протекая по зонам высокого загрязнения почв и грунтовых вод, фактически выполняют функции коллекторов сточных вод.

Наличие на берегах реки Северский Донец большого количества источников сбросов создает возможность возникновения неконтролируемых превышений концентрации загрязняющих веществ в поверхностных водах, несмотря на существующий контроль, осуществляемый лабораториями очистных сооружений.

Кроме того, лаборатории на станциях водоподготовки осуществляют контроль качества питьевой воды по важнейшим техногенным загрязнителям с недопустимо большим периодом (как правило, не чаще, чем 1 раз в неделю).

В настоящее время возникла необходимость создания системы аварийного предупреждения и экспресс-контроля качества питьевой воды, которая позволит объективно контролировать и предотвращать использование питьевой воды несоответствующего качества, что является крайне важным. Заблаговременно полученная информация и ее анализ также позволяют оптимизировать технологию водоподготовки.

При выборе конфигурации и комплектации системы экспресс-контроля и аварийного предупреждения необходимо обеспечить выполнение следующих требований:

- месторасположение отдельных постов контроля должно гарантировать заблаговременное предупреждение контролирующей организации о возникновении и распространении поля загрязнения на водозаборы, расположенные ниже по течению реки. При этом интервал времени, достаточный для принятия мер на станциях подготовки питьевой воды, рекомендуется рассчитывать по следующей формуле:

$$\frac{L}{V_{\max}} > T_{\text{оп}} + T_{\text{ан}} + T_{\text{ур}},$$

где:

$L$  — расстояние от поста до станции водоподготовки;

$V_{max}$  — максимальная скорость речного потока;

$T_{ОП}$  — время на отбор пробы;

$T_{ан}$  — время проведения анализа;

$T_{УР}$  — время на принятие управленческого решения.

- перечень измеряемых ингредиентов должен определяться исходя из индустриальной специфики района водосбора и априорной информации о ранее имевших место аварийных ситуациях и их амплитудно-временных характеристиках;
- при комплектации поста предпочтение должно отдаваться аппаратуре, позволяющей проводить экспресс-анализ важнейших загрязнителей техногенного характера, а также измерителям интегрального типа, что позволяет сократить число анализируемых показателей;
- в структуру системы раннего предупреждения должно органично включаться специализированное программное обеспечение, позволяющее оперативно прогнозировать распространения полей загрязняющих веществ;
- расположение постов контроля должно позволять оценивать адекватность получаемой информации о загрязнении с использованием методов корреляционного анализа;
- неизменным условием функционирования системы экспресс-контроля качества питьевой воды является наличие обратной связи между пользователями и службами, осуществляющими контрольные мероприятия.

Естественно, что вышеприведенные требования достаточно жестко ограничивают конфигурацию системы постов и на практике не всегда удается их выполнить.

Таким образом, в настоящее время перед разработчиками систем экспресс-контроля параметров качества водных объектов стоят следующие задачи:

- определение контролируемых параметров;
- разработка моделей оценки состояния водных объектов;
- разработка методов оперативного контроля параметров качества водных объектов;

- поскольку ресурсы, которые могут быть выделены на контроль, ограничены, возникает задача оптимизации контроля, т.е. задача определения такого регламента контроля, который в условиях ограниченных ресурсов позволял бы получать максимум полезной информации.

Во второй части данной статьи речь пойдет о первых двух задачах, т.е. о выборе контролируемых параметров (с учетом специфики региона) и разработке модели оценки состояния водных объектов.

### **Разработка модели оценки состояния водных объектов.**

В основе модели оценки состояния водных объектов лежит представление о них как о сложных (многопараметрических) системах, качество (состояние, местные условия и т.д.) которых описывается системой исходных характеристик. При этом исходные характеристики, определяющие уровень оцениваемого качества, могут быть весьма многочисленными и разнокачественными.

Если процесс оценки качества  $Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  - функция независимых переменных, в т.ч., возможно, координат пространства и времени, то для построения его модели необходимо измерять не только отклик  $Y$ , но и вектор  $\{x_i\}$  ( $i = \overline{1; N}$ ), описывающий состояние процесса. Если  $Y$  – биотический показатель, среди  $\{x_i\}$  могут быть и сопряженные биотические переменные и абиотические характеристики среды, которые в свою очередь являются функциями каких-то переменных, например, гидрохимические процессы как функции внешних условий, а также антропогенного фактора.

Таким образом, выражение  $Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  на любом уровне в виду взаимозависимости процессов – многомерная ветвящаяся функция, имеющая теоретически  $N \rightarrow \infty$ . На практике же всегда пользуются ограниченным числом существенных переменных, абстрагируясь от некоторых деталей процесса, которые представляются второстепенными. Степень такого огрубления может быть различной в зависимости от длины и состава выбранного вектора  $\{x_i\}$  ( $i = \overline{1; N}$ ).

Если каждому аргументу  $x_i$  назначить вес как степень его влияния на отклик, например

$$P_{x_i} = \left( \frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2,$$

и ранжировать ряд  $\{x_{ij}\} (i = \overline{1; N})$  по этому признаку, то отбрасывание последних (несущественных) членов не скажется на точности модели. Отбрасывание каких-то «средних» членов будет сопровождаться заметным снижением точности модели, но если отбросить хотя бы один член из существенно важных, модель не даст достоверного результата. Поэтому можно говорить о критической длине  $N_k$  вектора состояний. Наличие  $N_k$  отражает закон количественных накоплений и перехода в новое качество. Величину  $\{x_{ij}\} (i = \overline{1; N})$  желательно измерять всегда, ибо она репрезентативна для построения модели.

Следует также отметить, что, как правило, не имеется достаточной информации для однозначного задания числовых значений весовых коэффициентов. На практике (ввиду ограниченности априорных знаний; или из экономических соображений) часто измеряют не все элементы критического списка. Если вместо опущенных элементов измеряются какие-то другие, с ними связанные, возможна аппроксимация и получение модели хорошего качества.

Такой дефицит информации может быть смоделирован с помощью стохастических процессов и полей, индуцируемых рандомизированными параметрами.

Необходимо заметить, что некоторые из элементов, входящих в критический список для данного процесса, могут входить и в другие критические списки, поэтому их измерение весьма целесообразно. Они не только репрезентативны для описания данного процесса и связывают аргументы внутри этого процесса<sup>1</sup>, но и связывают различные процессы, т.е. они репрезентативны при описании множества процессов. Конечно, такие переменные могут быть распространенными, устойчивыми и т.п., в силу чего могут попасть в число определяемых по критериям, названным в работе [1]. Однако в работе [2] предполагается возможность построения частных специфических моделей применительно к отдельным объектам региона, что потребует измерения и специфических, присущих данному региону, нераспространенных вообще, возможно, неустойчивых (быстроменяющихся), но жизненно важных в модели  $x_i$ . Все это требует проведения детальных обследований изучаемых полей, включая расширенный список компонент.

---

<sup>1</sup> Т.е. замыкают критический ряд.

При построении моделей оценки состояния водных<sup>2</sup> объектов для нашего региона — Донбасса — установлено, что обязательными компонентами вектора  $\{x_i\}$  ( $i = \overline{1; N}$ ) будут водородный показатель  $pH$ , общая минерализация  $M$  (этот параметр также называют общим содержанием солей), которая определяется наличием в воде солей (в основном бикарбонатов, хлоридов и сульфатов) кальция, магния, калия и натрия, и электропроводность  $\chi$ , которая в свою очередь является функцией концентрации различных ионов в воде, наибольший вес (см. выше) среди которых будут иметь ионы натрия ( $Na^+$ ), калия ( $K^+$ ), кальция ( $Ca^{2+}$ ), хлора ( $Cl^-$ ), сульфата ( $SO_4^{2-}$ ) и гидрокарбоната ( $HCO_3^-$ ). Меньший вес при определении электропроводности будут иметь концентрации следующих ионов —  $NO_3^-$ ,  $HPO_4^-$ ,  $H_2PO_4^-$ . Наличием в воде ионов трех- и двухвалентного железа ( $Fe^{3+}$  и  $Fe^{2+}$ ), марганца ( $Mn^{2+}$ ) и алюминия ( $Al^{3+}$ ) вообще можно пренебречь. Таким образом, получим, что процесс оценки качества воды (экспресс-оценки)  $Y$  для нашего случая есть функция следующих переменных:

$$Y = f(pH, M, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-, NO_3^-, HPO_4^-, H_2PO_4^-).$$

Было определено, что, хотя концентрации ионов нитратов и фосфатов не имеют большого веса, ими нельзя пренебречь — их отбрасывание как несущественных членов модели оценки качества приведет к заметному снижению точности модели и, следовательно, модель не будет являться адекватной.

Далее предложим модель оценки состояния водного объекта, которая повышает информативность оперативной оценки состояния объекта. Данная задача сводится к определению значений всех показателей, получаемых системой с наибольшей частотой<sup>3</sup>. Для сопоставимости различных показателей качества воды информационные свойства измеряемых концентраций будем характеризовать не абсолютными значениями этих концентраций, а их отношением к установленным нормативам —  $C^0$ . Тогда для вышеупомянутого процесса оценки качества водных объектов в нашем регионе можно записать следующую совокупность уравнений:

---

<sup>2</sup> Питьевая вода

<sup>3</sup> Частотой работы автоматических станций.

$$\left[ \begin{array}{l}
 pH(t) = P_{H^+} \frac{C_{H^+}}{C_{H^+}^0} + P_{OH^-} \frac{C_{OH^-}}{C_{OH^-}^0}; \\
 \chi(t) = f\left(P_{Na^+} \frac{C_{Na^+}}{C_{Na^+}^0}, P_{K^+} \frac{C_{K^+}}{C_{K^+}^0}, P_{Cl^-} \frac{C_{Cl^-}}{C_{Cl^-}^0}, P_{Ca^{2+}} \frac{C_{Ca^{2+}}}{C_{Ca^{2+}}^0}, P_{SO_4^{2-}} \frac{C_{SO_4^{2-}}}{C_{SO_4^{2-}}^0}, P_{Na^+} \frac{C_{Na^+}}{C_{Na^+}^0}, P_{HCO_3^-} \frac{C_{HCO_3^-}}{C_{HCO_3^-}^0}, \right. \\
 \left. P_{NO_3^-} \frac{C_{NO_3^-}}{C_{NO_3^-}^0}, P_{HPO_4^-} \frac{C_{HPO_4^-}}{C_{HPO_4^-}^0}, P_{H_2PO_4^-} \frac{C_{H_2PO_4^-}}{C_{H_2PO_4^-}^0}\right); \\
 M(t) = \sum P_{XY} \frac{C_{XY}}{C_{XY}^0}.
 \end{array} \right.$$

В этой совокупности  $P_i$  — вес  $i$ -го показателя,  $C_i$  — измеренная концентрация  $i$ -го показателя,  $C_i^0$  — норматив концентрации для  $i$ -го показателя,  $X$  — один из следующих элементов:  $Ca$ ,  $Mg$ ,  $K$ ,  $Na$ , —  $Y$  — кислотный остаток<sup>4</sup>,  $M$  — общая минерализация.

По поводу весовых коэффициентов можно сказать следующее: было установлено [3, 5], что весовые коэффициенты  $P_{H^+}$  и  $P_{OH^-}$  приблизительно равны и колеблются в пределах 0,4–0,6; во втором уравнении совокупности весовые коэффициенты для  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  и  $HCO_3^-$  равны и максимальны (естественно, допускаются небольшие отклонения), немного меньшее значение (на 10–15%) имеет коэффициент для  $NO_3^-$ , и наименьшие весовые коэффициенты в этом уравнении у  $HPO_4^-$ ,  $H_2PO_4^-$ ; зная концентрации указанных элементов, не составляет особого труда определить электропроводность (куда сложнее обратный процесс); наконец, в последнем уравнении весовые коэффициенты необходимо определять для каждой конкретной задачи.

За основу меры неопределенности в данном случае рекомендуется принять дисперсию процесса измерения  $i$ -го показателя<sup>5</sup>, а не энтропию, и оценивать количество информации по формулам, приведенным в [5].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В статье выполнен анализ проблемы экспресс-контроля качества питьевой воды. Даны рекомендации по разработке систем экспресс-контроля качества водных объектов, указания по выбору конфигурации и комплектации таких систем.

<sup>4</sup> Из следующего ряда:  $Cl$ ,  $PO_4$ ,  $SO_4$ ,  $HCO_3$ .

<sup>5</sup> Т.к. меру количества информации рекомендуется выбирать в каждом конкретном случае, исходя из содержания задачи и практических возможностей ее решения.

Приведена модель оценки состояния водных объектов, рассмотрена специфика построения моделей для Донецкого региона с указанием элементов критического списка для предложенной модели.

На основе выбранной меры количества информации о качестве воды можно дать следующие общие методологические рекомендации по оптимизации процесса контроля:

- периодичность контроля показателей качества воды при прочих равных условиях должна определяться не значениями концентрации, а диапазонами их измерения. Например, показатель, в 10 раз превышающий ПДК и изменяющийся в диапазоне  $\pm 10\%$  следует контролировать реже, чем показатель, в 2 раза превышающий ПДК, но изменяющийся на  $\pm 60\%$ ;
- целесообразно выделять группу взаимосвязанных показателей, среди которых лишь отдельные наиболее важные для данного объекта показатели следует контролировать чаще за счет уменьшения периодичности определения прочих показателей данной группы.

### *Литература*

1. Ровинский Ф.Я., Филиппова Л.М., Израэль Ю.А. Фоновый мониторинг: региональные и базовые станции, биосферные заповедники. Мониторинг состояния окружающей природной среды. — В кн.: Тр. 1-го советско-английского симпозиума. — Кардингтон, Англия, 1976. — Л., 1977.
2. Израэль Ю.А. и др. Система наблюдений и контроль загрязнений природной среды в СССР. — Метеорология и гидрология, 1978. — № 10.
3. Drinking Water Quality. Problems and Solutions, N.F.Gray, 1994.
4. Белогуров В.П. Математическая постановка задачи оптимизации параметров системы контроля качества воды. — Гидрохимический институт (г. Ростов-на-Дону), Гидрохимические материалы, т. LXXVIII, 1981.
5. Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. Энциклопедический справочник. — Москва, 1995.

Сдано в редакцию: 11.03.2003г.

Рекомендовано к печати: д.т.н., проф. Зори А.А.