

**С. Ф. АРТЮХ**, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;  
**Н. А. ЛЮБИМОВА**, канд. техн. наук, доц., ХНАУ, Харьков

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕЧНОЙ ВОДЫ В ЗОНЕ КАСКАДА МАЛЫХ ГЭС

В данной работе рассматривается актуальная задача построения математической модели технического контроля водного объекта в условиях использования последнего каскадом малых ГЭС с целью выполнения норм природопользования. Решение имеет большой технологический, экологический и экономический эффект.

**Ключевые слова:** математическая модель, распознавание, экология, загрязнение, речная вода

**Вступление.** В проблеме контроля состояния природной среды содержится задача идентификации источников загрязнения речной воды для принятия мер по их устранению. Это сформулировано в ряде нормативных документов. Большое количество источников загрязнения реки, например каскад малых ГЭС, не позволяет качественно контролировать каждый из них. Часто водопользователи нарушают нормы сбросов, что влечет большие экологические и экономические потери общества. Это обуславливает актуальность данной работы.

Существующая система мониторинга позволяет вести постоянное наблюдение за качественным состоянием воды в некоторых створах водотока. Однако многие задачи оперативного управления водоохранными комплексами требуют более подробной информации о распределении загрязняющего воздействия между источниками сточных вод, действующими на одних и тех же участках реки, свободных от контролируемых створов. Быстрое получение такой информации бывает особенно необходимо в критических ситуациях, когда в каком-нибудь контрольном створе наблюдается превышение установленных норм качества воды. Как правило, такая ситуация является следствием нарушения предельно допустимого сброса (ПДС) сточных вод некоторыми источниками загрязнения, расположенными на участке реки между самым верхним створом, в котором зарегистрировано превышение, и ближайшим к нему сверху другим контрольным створом. В этом случае возникает задача идентификации этих источников загрязнения по показаниям в обоих контрольных створах. Задача идентификации (диагностики) состоит в оценивании состояния и параметров системы по результатам наблюдений над входными и выходными переменными системы, полученными в условиях ее функционирования.

©В.В. Артюх, Н.А. Любимова, 2013

При этом считаются известными структура системы и класс моделей, к которому относится данный объект. Априорная информация обычно достаточно велика. Трудности решения указанной задачи в применении к водоохранным комплексам вызваны, в основном, следующими причинами: сосредоточенностью участков сбора информации, высокой степенью недостоверности данных и отсутствием гибкого математического аппарата их обработки (вследствие чего большая часть из них оказывается неиспользованной). Ниже обсуждаются постановка этой задачи с точки зрения классической теории распознавания образов.

**Постановка задачи.** Рассмотрим водоток, подверженный воздействию поверхностного стока, с расположенными на нем контрольными створами, которые разбивают его на элементарные участки (каждый такой участок включает в себя по определению ограничивающие его контрольные створы, т.к. является замкнутым). Считаем, что результаты измерений, проводимых в различных контрольных створах, имеют примерно одинаковую достоверность. Поэтому для наблюдения за качественным состоянием воды в интересующем нас створе на данном участке, (например, в створе сброса сточных вод), показания в контрольных створах, лежащих вне этого участка, не несут никакой полезной информации. Таким образом, в качестве объекта задачи идентификации можем взять минимальный участок водотока (предполагаем, что он не разветвлен), ограниченный двумя контрольными створами – фоновым и замыкающим. Пусть далее на этом участке расположено  $n$  сосредоточенных источников загрязнения (каскад малых ГЭС), имеющих последовательную нумерацию по течению реки. Загрязняющее воздействие  $i$ -го источника ( $i=1, \dots, n$ ) мы будем характеризовать вектор – функцией химического загрязнения в створе сброса сточных вод (в дальнейшем именуемой просто функцией сброса).

$$x_i(t) = (x_{i1}(t), \dots, x_{im}(t))^T,$$

где  $T$  – знак транспонирования,  $m$  – число контролируемых ингредиентов,  $x_{ij}(t)$  – расход в момент времени  $t$  массы  $j$ -го вещества, сбрасываемого  $i$ -м источником со сточными водами. Аналогично, для произвольного створа можно ввести функцию состояния, компоненты которой, в отличие от функции сброса, представляют собой мгновенные массовые расходы веществ, проходящих через поперечное сечение данного створа. Очевидно, функция сброса данного точечного источника равна разности функций состояния двух бесконечно близких створов – выше и ниже створа сброса этого источника. Для простоты обозначений будем считать фоновый створ “первым” источником загрязнения, и рассматривать его функцию состояния как функцию сброса  $x_1(t)$ .

Предположим, что в течение расчетного периода времени водный режим данного участка является установившимся и уровень влияния распределенных источников загрязнения на функцию состояния  $y(t)$  замыкающего створа остается неизменным. Тогда процесс формирования качества воды на данном участке достаточно точно описывается линейной конечномерной моделью

$$y(t) = F(\hat{x}_1(t-\tau_1), \dots, \hat{x}_n(t-\tau_n)) + g(t), \quad (1)$$

где  $\tau_i$  – время добегающего от  $i$ -го источника до замыкающего створа;  $g(t)$  – случайная функция невязки с нулевым математическим ожиданием;

$F: R_n^m \rightarrow R^m$  – некоторый линейный оператор, неизменный в течение рассматриваемого периода времени, действующий из пространства  $R_n^m$  матриц размера  $n \times m$  в  $m$ -мерное пространство  $R^m$ ;  $\hat{x}_i(\theta)$  – усреднение функции сброса  $x_i(\theta)$  по адекватному временному интервалу:

$$\hat{x}_i(\theta) = \frac{1}{2\varepsilon_i} \int_{\theta-\varepsilon_i}^{\theta+\varepsilon_i} x_i(\theta+\tau) d\tau.$$

Присутствие в модели (6) “сглаженных” функций сброса  $\hat{x}_i(\theta)$  выражает тот факт, что для реальных потоков время добегающего  $\tau_i$  является случайной величиной (предположение о постоянстве времени добегающего приводит к переоценке самоочищающей способности – экологического обобщенного показателя – водного объекта). Поскольку в дальнейшем нигде явно не используются мгновенные значения функций сброса, будем условно считать усреднение  $\hat{x}_i(\theta)$  функцией сброса  $i$ -го источника и обозначать его  $x_i(\theta)$ . Такое отождествление понятий оправдано еще и тем, что любые фактические оценки значений функции сброса, так или иначе получаются путем усреднения.

Пусть  $X_i, Y$  области допустимых значений для функций сброса  $x_i(t)$  и функции состояния  $y(t)$ , назначаемые, согласно нормативов, ПДС и ПДК для конкретного водного объекта. Единственное необходимое условие задачи идентификации, налагаемое на область  $Y$ , состоит в следующем. Если достаточно долго выполняется условие  $\forall t: x_i(t) \in X_i$ , то, начиная с момента  $t_0$ , должна иметь место ситуация  $\forall t \geq t_0: y(t) \in Y$ .

На языке модели  $F$  это условие можно выразить так: область  $Y$  должна содержать образ, при отображении  $F$  декартова произведения  $X_1 \times \dots \times X_n$ , т.е.

$$F(X_1 \times \dots \times X_n) \subset Y \quad (2)$$

Рассмотрим подробнее модель (1). Имеет место следующее свойство аддитивности оператора  $F$ :

$$F(X_1 \times \dots \times X_n) = \sum_{i=1}^n F_i(x_i) + b,$$

где  $b$  – фоновая составляющая, обусловленная действием распределенных и неучтенных источников;  $F_i: R^m \rightarrow R^m$  – некоторый линейный оператор. Ввиду аддитивности оператора  $F$  мы можем исключить из рассмотрения контролируемые источники, функции сброса которых известны, а также параметр  $b$ , динамически модифицировав функцию  $y(t)$  и область  $Y$  путем вычитания формального вклада этих источников. Так, модель (1) приводится к виду

$$y = \sum_{i=1}^n F_i(x_i) + g,$$

(мы опускаем временной аргумент); при этом все функции  $x_i$  считаются случайными и независимыми.

Предположим, в некоторый момент времени зарегистрирована ситуация  $y \notin Y$ . В силу условия (2) возможны два случая: хотя бы один – скажем,  $k$ -й – источник нарушил норму сброса в соответствующий момент времени, т.е.  $x_k \notin X_k$  либо данная ситуация вызвана большим отклонением от нуля значения функции невязки  $g$ , т.е. неточностью измерений, нечеткостью модели и т.д.

**Вывод.** Рассмотренная модель позволяет решить задачу идентификации загрязнителей речной воды в условиях общего пользования каскадом малых ГЭС. В дальнейшем на базе предложенного необходимо разработать более конкретную модель, в которой, используя оптимальное решающее правило, по которому возможно определить всех нарушителей норм сбросов и оценить вероятность ошибки этого правила, служащую критерием его оптимальности. При этом можно осуществлять объективную оценку состояния гидрозкосистемы. Более общая задача – оценивание значений функций сбросов  $x_i$  по наблюдениям  $Y$  (задача идентификации) в отдельных случаях может быть решена аналогичными методами. Решение ее имеет не только экологический и технологический эффект, но и значительный экономический эффект, достигаемый путем

минимизации технических средств, в частности средств измерений, необходимых для автономного контроля каждого источника загрязнения.

**Список литературы:** 1. *Качиашвили К. И.* Обнаружение источников загрязнения с помощью автоматических станций контроля качества речной воды / *К. И. Качиашвили* // Регулирование качества природных вод.: сб. научн. тр. – Х.: - ВНИИВО, 1984. – С. 114 – 119. 2. *Биргер И.А.* Техническая диагностика / *И.А. Биргер.* - М.: Наука, 1978. – 240 с. 3. *Белозуров В.П.* Идентификация источника загрязнения речной воды. / *В.П. Белозуров* // в кн.: Проблемы охраны вод., сб. научн. тр. – Х.: - ВНИИВО, 1985. – С. 87 – 91. 4. *Гихман И.И.* Теория вероятности и математическая статистика / *И.И. Гихман, Скороход А.В., Ядренко./* - К.: Вища школа, 1979. – 408 с. 5. *Ефименко В.В.* Оперативный контроль и регулирование процесса биохимической очистки сточных вод / *Ефименко В.В.* // Х.: - ВНИИВО, 1989. - 119 с. 6. *Ванник В. Н.* Теория распознавания образа / *В.Н. Ванник.* - М.: Наука, 1974. – 416с. 7. *Васильев В.И.* Распознающие системы / *В.И. Васильев* - К.: Наукова думка, 1969. – 291с.

Поступила в редколлегию 14.02.2013

УДК 658.389

**Идентификация источника загрязнения речной воды в зоне каскада малых ГЭС. / Артюх С.Ф., Любимова Н.А.** // Вісник НТУ «ХП», Серія: Енергетика, надійність та енергоефективність. – Харків: НТУ «ХП». – 2013. – №.17 (990). – С.3-7. Бібліогр.: 7 назв.

В даній роботі розглядається актуальна задача побудови математичної моделі технічного контролю водного об'єкту в умовах використання останнього каскадом малих ГЕС із метою виконання норм природокоористування. Рішення має великий технологічний, екологічний та економічний ефект.

**Ключові слова:** розпізнавання, математична модель, екологія, річкова вода, забруднювач

In this article is described issue of the day of the formulation mathematic model of technical control of water object for the cascade of the little GES. It is a problem for the realization of the natural law. This decision has big technological, economic and ecological effect.

**Keyword:** mathematic model, identification, ecology, pollution, water of river

УДК 621.316.953:621.04.8

**П.Ф.БУДАНОВ**, канд. тех. наук, доц., УИПА, Харьков;  
**А.М.ЧЕРНЮК**, ст. препод., УИПА, Харьков

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ЗАЕМЛИТЕЛЕЙ ПЕРЕДВИЖНЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

В статье представлен опыт экспериментального определения электрофизических параметров поверхностных электролитических заземлителей (ПЭЗ) на физической модели и в полевых испытаниях. Подтверждена теоретическая основа метода определения сопротивления ПЭЗ.

**Ключевые слова:** заземление передвижных электроустановок, поверхностных электролитических заземлитель, полевые испытания, электрофизические параметры грунта

**Постановка проблемы.** В районах, удалённых от развитой энергосети, а так же на объектах, постоянно меняющих своё место расположения нашли широкое применение передвижные электроустановки (ПЭУ) Особенности работы данных энергообъектов (воздействие атмосферных осадков, перепады температур, вибрация, запыление и загрязнение, наличие большого числа контактных соединений распределительной кабельной сети и возможности её повреждения другими механизмами) определяют данный объект, как объект повышенной опасности поражения человека электрическим током. Это накладывают серьезные требования к обеспечению электробезопасности обслуживающего персонала и лиц работающих в непосредственной близости от ПЭУ [1].

Основной мерой обеспечения электробезопасности электроустановках является защитное заземление [2, 3] В соответствие с [4] заземление ПЭУ должно выполняться так же как и для стационарных электроустановок. Однако, сооружение заземляющих устройств с нормируемым сопротивлением заземления для ПЭУ зачастую невозможно по причине их работы на грунтах с высоким удельным сопротивлением. В качестве решения проблемы заземления ПЭУ было предложено использовать поверхностные электролитические заземлители (ПЭЗ) различных конструкций сочетающие обширную поверхность контакта заземлителя с грунтом и минимальные трудовые и временные затраты на монтаж [5,6]. В [7] был предложен метод определения сопротивления ПЭЗ основанный на применении теории перколяции и фрактальной геометрии.

©П.Ф. Буданов, А.М. Чернюк, 2013