

ДОКЛАДЫ АН ВШ РФ		
2014	апрель–сентябрь	№ 2–3 (23–24)
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ		

УДК 519.246.8

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Т.Е. Родионова, В.Н. Клячкин

Ульяновский государственный технический университет

Для предотвращения аварийных ситуаций проводится регулярный контроль показателей качества питьевой воды в ходе технологического процесса ее очистки на водоочистных сооружениях. С целью решения этой проблемы и прогноза качества воды на ближайшее время по выборкам исходных измерений физико-химических показателей водоисточника строятся регрессионные модели показателей качества воды. Приводится описание применяемых методов и результаты расчетов. Для выбора наилучшей модели используются внутренние и внешние меры качества. Расчет проведен по восьми выборкам по сорок дней. Оптимальной оказалась модель, полученная методом случайного поиска с адаптацией. Предложен метод оценки стабильности процесса очистки воды, основанный на использовании различных вариантов многомерной карты Хотеллинга: стандартной карты (о нарушении процесса свидетельствует выход точки за контрольную границу), карты с дополнительным анализом неслучайных структур (тренда, цикличности, резких скачков на карте и т.п.) и карты с предупреждающими границами (попадание последовательности из заданного числа точек между предупреждающей и контрольной границами показывает нестабильность процесса). Существенный интерес представляет исследование возможности определения той модификации многомерной карты, которая окажется наиболее чувствительной к предполагаемым нарушениям процесса очистки.

Ключевые слова: питьевая вода, регрессионная модель, метод наименьших квадратов, пошаговая регрессия, внутренние и внешние меры, карта Хотеллинга.

Введение

При централизованном водоснабжении законодательно определено, что вода, поступающая к потребителю, должна быть безопасной для здоровья независимо от степени загрязнения источников водоснабжения. В настоящее время на территории РФ требования к качеству воды централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения регулируются государственным стандартом – санитарными правилами и нормами РФ или СанПиНом РФ 2.1.4.1074–01. Традиционно для оценки качества воды в источнике водоснабжения используются физические, химические и санитарно-бактериологические показатели. К физическим показателям качества воды относят температуру, запахи и привкусы, цветность и мутность. Химические показатели характеризуют химический состав воды. Обычно к числу химических показателей относят водородный показатель воды pH, жесткость и щелочность, минерализацию (сухой остаток), а также содержание главных ионов.

С целью исследования влияния регрессоров – физико-химических показателей водоисточника, а также управляемых факторов – доз коагулянта и флокулянта на отклики – показатели качества питьевой воды, строились математические модели с использованием различных подходов регрессионного моделирования. Из набора полученных моделей выбиралась оптимальная путем сравнения внутренних и внешних мер качества.

Исследование выполнено в рамках задания Минобрнауки России № 14.02.01.2014/232.

© 2014 Т.Е. Родионова, В.Н. Клячкин

1. Описание исходных данных

Для предотвращения аварийных ситуаций и контроля технологического процесса очистки воды регулярно проводят измерения ее физико-химических показателей. В качестве исходных данных рассматривались результаты физико-химического контроля питьевой воды (y_1 – цветность, y_2 – содержание алюминия, y_3 – pH, y_4 , y_5 – содержание хлоридов и остаточного хлора, y_6 – окисляемость, y_7 – щелочность) и воды водоисточника (x_1 – температура, x_2 – цветность, x_3 – мутность, x_4 – pH, x_5 – щелочность, x_6 – окисляемость), а также дозы коагулянта (x_7) и флокулянта (x_8), используемых для очистки воды. Мутность питьевой воды оценивалась лишь на соответствие нормам и нигде эти нормы не превышала.

Измерения проводились один раз в сутки, поэтому при построении моделей использованы режимы работы системы водоочистки на момент взятия проб (изменения режимов работы в течение суток не учитывались).

Исходный файл данных с результатами контроля за год был разделен на восемь выборок по 40 дней. При проведении регрессионного анализа проводилось разбиение каждой выборки на модельную (36 наблюдений) и контрольную части для подсчета внешних мер качества получаемых моделей. Контрольная выборка формировалась из последних четырех наблюдений. При разделении исходного файла на выборки пришлось учитывать, что физико-химические показатели водоисточника могут быть неизменными в течение достаточно продолжительного времени (более 40 одинаковых результатов измерений). Известно, что наличие в обрабатываемом файле столбца из одинаковых элементов при компьютерной обработке данных приводит к возникновению ошибки и остановке расчета [1].

2. Проверка предположений регрессионного анализа

При соблюдении предположений регрессионного анализа полученная оценка будет являться несмещенной (ее математическое ожидание равно истинному значению неизвестного параметра), эффективной (в классе линейных несмещенных оценок любая другая линейная несмещенная оценка будет иметь большую дисперсию) и состоятельной (с увеличением числа наблюдений она сходится по вероятности к истинному значению).

В реальных условиях предположения регрессионного анализа в задачах оценивания параметров моделей нарушаются. В соответствии с теорией это приводит к значительным случайным и систематическим ошибкам и понижению точности оценок.

Одна из проблем напрямую связана с матрицей исходных данных: среди аргументов (переменных) не должно быть линейно зависимых. Это явление называется мультиколлинеарностью и имеет весьма отрицательные последствия для оценивания коэффициентов регрессии [2, 3].

Кроме того, в моделях данные имеют разный физический смысл и разные физические размерности. Это вызывает вычислительные неудобства, что влечет за собой вычислительные ошибки.

Наличие в моделях незначимых слагаемых, а также наличие взаимной корреляции между оцениваемыми параметрами позволяет сделать вывод о нарушениях предположений регрессионного анализа. В связи с этим в работе исследованы возможности применения ряда методов адаптации к этим нарушениям.

Для проведения расчетов по сформированным выборкам была использована программа СПОР (система поиска оптимальных регрессий) которая позволяет

оценивать параметры регрессионной модели, вычисляет корреляционную матрицу и меры качества полученной модели (статистические меры) [1].

Вначале для каждой из восьми выборок были получены модели с помощью метода наименьших квадратов (МНК).

В общем случае регрессионная модель имеет вид

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_{i,1} + \dots + \beta_{p-1} x_{i,p-1} + \varepsilon_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где n – количество наблюдений в выборке, y_i – отклик в i -м наблюдении; $x_{i,j}$ ($j = \overline{1, p-1}$) – регрессоры, β_j ($j = \overline{1, p-1}$) – параметры модели. Запишем систему (1) в матричном виде:

$$Y = X\beta + \varepsilon. \quad (2)$$

Определялась функция $Y = f(X)$ из множеств параметрических семейств функций $Y = f(X, \beta)$, которая по какому-то условию (мере) будет «наилучшим» образом описывать зависимость Y от X . Применение МНК для оценивания β означает решение задачи на поиск экстремума (минимума) функции $S = S(\beta)$, где $S = \sum \varepsilon_i^2 = \varepsilon^T \varepsilon$.

Для оценки качества полученных по выборкам моделей были использованы такие статистики (меры качества) как стандартная ошибка σ_Δ , коэффициент множественной корреляции R , коэффициент детерминации R^2 , общий F -критерий. Так как значения этих статистик получаются путем обработки данных, на основе которых строится модель, то они являются внутренними критериями. Результаты расчетов по МНК для отклика y_6 (окисляемость) приведены в табл. 1, где столбцы соответствуют номерам выборок (от 1 до 8), а строки содержат значения мер качества полученных моделей: коэффициент детерминации, стандартная ошибка модели, F -критерий и внешняя мера R_Δ .

Внешние меры формируются по данным, не использованным при получении модели. Так как выборка была разделена на две части, то обучающая подвыборка (36 наблюдений) использовалась для построения модели, а контрольная (четыре последних наблюдения) дает возможность оценить качество прогноза по мерам, основанным на разностях $\Delta_i = (y_i - \hat{y}_i)$ для контрольных точек.

Таблица 1 / Table 1

Меры качества МНК-модели
Quality measures OLS-model

	Номер выборки / Sample number							
Коэффициент детерминации / Determination coefficient	0,69	0,6	0,44	0,55	0,44	0,45	0,35	0,25
Стандартная ошибка / Standard error	0,145	0,28	0,36	0,25	0,33	0,21	0,26	0,25
F -критерий / F -criterion	7,46	5,4	2,58	3,99	2,62	2,77	1,84	1,1
R_Δ	0,66	0,93	0,36	0,18	0,12	0,75	0,98	0,29

При этом мера R_Δ вычисляется по стандартной формуле для выборочного коэффициента множественной корреляции с учетом того, что $\hat{y}_i$ – прогноз для

скользящих контрольных точек. Чем выше R_{Δ} , тем лучше модель соответствует наблюдениям. Из таблицы видно, что для выборок 2 и 7 значение этого показателя выше 0,9, что соответствует отличным прогностическим свойствам данных моделей.

Наличие в полученных моделях незначимых слагаемых, а также наличие взаимной корреляции между оцениваемыми параметрами позволяет сделать вывод о нарушениях предположений регрессионного анализа. Полученные стандартные ошибки моделей имеют один порядок, но различие между ними может составлять до 50 %. Так как модели имеют одинаковую структуру, то их можно сравнивать по данному показателю, но при этом следует учитывать физический смысл моделей – они описывают показатель окисляемости питьевой воды за разные промежутки времени. Тем не менее в полученных показателях можно увидеть определенную стабильность значений стандартной ошибки (σ_{Δ}).

Критерий R^2 (коэффициент детерминации) используют как меру линейной стохастической связи: чем больше значение R ($0 \leq R \leq 1$), тем сильнее связь, т.е. тем лучше $f(X)$ соответствует наблюдениям. Мера R (R^2) имеет дополнительное преимущество перед стандартной ошибкой модели (σ_{Δ}) – абсолютный характер при одной выборке наблюдений, поскольку оценивает степень тесноты связи. Полученные для выборок расчетные значения этого показателя колеблются от 0,25 до 0,69. В соответствии с принятой шкалой это соответствует «умеренной» и «заметной» силе связи. Мы видим, что МНК-модели имеют низкое практическое значение, так как на долю вариации факторных признаков приходится меньшая часть по сравнению с остальными неучтенными в модели факторами, влияющими на изменение результативного показателя.

Для оценки адекватности модели в целом и пригодности ее для прогноза можно использовать F -статистику. На практике применяется правило: модель считается адекватной и пригодной для прогноза в случае, если $F > 4F(\alpha, p-1, n-p)$, где $F_T(\alpha, p-1, n-p)$ – квантиль-распределения Фишера порядка $1 - \alpha$ с числом степеней свободы $p-1$ в числителе и $n-p$ в знаменателе. Для полученных МНК-моделей это неравенство не выполняется.

Рассматривая в совокупности полученные меры качества моделей и учитывая выявленные нарушения условий МНК, далее предложены некоторые методы адаптации.

3. Методы адаптации к выявленным нарушениям

Для преодоления выявленных нарушений был использован метод пошаговой регрессии. Пошаговая множественная регрессия является статистическим методом анализа связи между зависимой переменной (y) и множеством независимых переменных ($x_1, x_2, \dots, x_{p-1}$), и осуществляет отбор независимых переменных в порядке их значимости. Критерий значимости основывается на уменьшении сумм квадратов. Независимая переменная, наиболее влияющая на это уменьшение на данном шаге, вводится в регрессию. Одним из существенных элементов данной реализации является добавление в алгоритм операции исключения регрессора, включенного в модель на данном шаге и ухудшающего значение критерия, по которому производится поиск оптимальной модели. В качестве критерия поиска оптимальной модели могут использоваться как внутренние меры, так и внешние. Таким образом, в модель добавляется регрессор, который вызывает наибольшее уменьшение остаточной суммы квадратов и, если его включение ухудшает крите-

рий, по которому происходит поиск, то он исключается из модели и из дальнейшего рассмотрения [2, 3].

В табл. 2 приведены меры качества моделей полученных при использовании в качестве критерия поиска t -статистики, в табл. 3 – коэффициента множественной корреляции, в табл. 4 – стандартной ошибки модели.

В нижних строках таблицы показана структура модели: какие из восьми регрессоров значимы и входят в состав модели. Приведенные в табл. 2–4 данные позволяют сделать вывод о том, что для различных выборок в модель вошли разные параметры, при этом ни в одну из моделей не вошли оба управляемых параметра x_7 и x_8 .

Для контроля качества питьевой воды с целью регулирования уровня ее очистки необходима модель, содержащая x_7 и x_8 – дозы коагулянта и флокулянта. Если не использовать принудительное введение этих параметров, то подходящей модели по методу пошаговой регрессии, как и по МНК, не получено.

Таблица 2 / Table 2

Меры качества моделей по t -критерию при пошаговой регрессии
Models quality measures by t -test with stepwise regression

	Номер выборки / Sample number							
Коэффициент детерминации / Determination coefficient	0,64	0,59	0,42	0,45	0,38	0,38	0,3	0,12
Стандартная ошибка / Standard error	0,145	0,26	0,32	0,25	0,31	0,2	0,24	0,24
F -критерий / F -criterion	1,38	2,67	2,47	8,75	1,04	1,06	7,33	4,59
R_A	0,47		0,37	0,23	0,08	0,8	–0,89	–0,22
Состав модели / Model structure	x_2, x_4 x_6, x_7	x_6, x_7	x_6	x_3, x_5 x_7	x_5, x_8	x_4, x_6	x_5, x_7	x_1

Таблица 3 / Table 3

Меры качества моделей по R -критерию
Models quality measures by the R -criterion

	Номер выборки / Sample number							
Коэффициент детерминации / Determination coefficient	0,67	0,59	0,42	0,53	0,44	0,38	0,3	0,19
Стандартная ошибка / Standard error	0,14	0,26	0,32	0,25	0,3	0,2	0,24	0,24
F -критерий / F -criterion	1,01	2,67	2,47	6,6	8,18	1,06	7,33	2,58
R_A	0,6		0,37	0,2	0,08	0,8	–0,89	0,13
Состав модели / Model structure	x_1, x_2 x_3, x_4 x_6, x_7	x_6, x_7	x_6	x_3, x_4 x_5, x_6 x_7	x_5, x_6 x_8	x_4, x_6	x_5, x_7	x_1, x_3 x_5

Таблица 4 / Table 4

Меры качества моделей по критерию стандартной ошибки
Models quality measures by the standard error criterion

	Номер выборки / Sample number							
Коэффициент детерминации / Determination coefficient	0,67	0,59	0,42	0,53	0,44	0,38	0,3	0,19
Стандартная ошибка / Standard error	0,14	0,26	0,32	0,25	0,3	0,2	0,24	0,24
F-критерий / F-criterion	1,01	2,67	2,47	6,6	8,18	1,06	7,33	2,58
R_A	0,6		0,37	0,2	0,08	0,8	-0,89	0,13
Состав модели / Model structure	x_1, x_2 x_3, x_4 x_6, x_7	x_6, x_7	x_6	x_3, x_4 x_5, x_6 x_7	x_5, x_6 x_8	x_4, x_6	x_5, x_7	x_1, x_3 x_5

Далее для анализа был применен метод случайного поиска с адаптацией и случайного поиска с возвратом. Задачу поиска оптимального набора регрессоров можно рассматривать как задачу оптимизации функционалов с булевыми переменными, если ввести булев вектор Z с компонентами $z_j (j = \overline{1, p-1})$, равными 0 или 1, тогда формула (1) перепишется в виде

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_{i,1} \cdot z_j + \dots + \beta_{p-1} x_{i,p-1} \cdot z_{p-1} + \varepsilon_i, \quad j = \overline{0, p-1} \quad (3)$$

Учитывая, что коэффициенты z_j могут принять значения 0 или 1, то количество различных векторов Z будет равно 2^p , т. е. соответствует количеству всех возможных структур, формируемых на основе исходной модели.

В дополнение к постановке задачи непрерывной оптимизации для оценивания параметров

$$\min_{\bar{\beta} \in G \in R^p} S, \text{ где } S = \sum_{i=1}^n \left(y_i - \sum_{j=0}^{p-1} \beta_j x_{ij} \right)^2, \quad (4)$$

решается задача дискретной оптимизации для структурной идентификации в виде задачи оптимизации функционала с булевыми переменными: $\min S$, где $S = f(Z, S)$ – принятая мера качества.

Для построения моделей были использованы три меры качества модели: коэффициент множественной корреляции, F -статистика и стандартная ошибка модели. В табл. 5 приведены результаты расчета с использованием в качестве задаваемой меры коэффициента множественной корреляции.

Из приведенной таблицы видно, что полученные модели характеризуются небольшой стандартной ошибкой, сравнимой по значениям с результатами множественной и пошаговой регрессии. По коэффициенту детерминации и F -критерию получено небольшое улучшение качества модели.

Основным достоинством данных моделей можно считать тот факт, что каждая из них содержит параметры x_7 и x_8 (дозы коагулянта и флокулянта), необходимые для регулирования процесса очистки питьевой воды.

Таблица 5 / Table 5

Меры качества моделей при использовании случайного поиска с адаптацией
Models quality measures using random search with adaptation

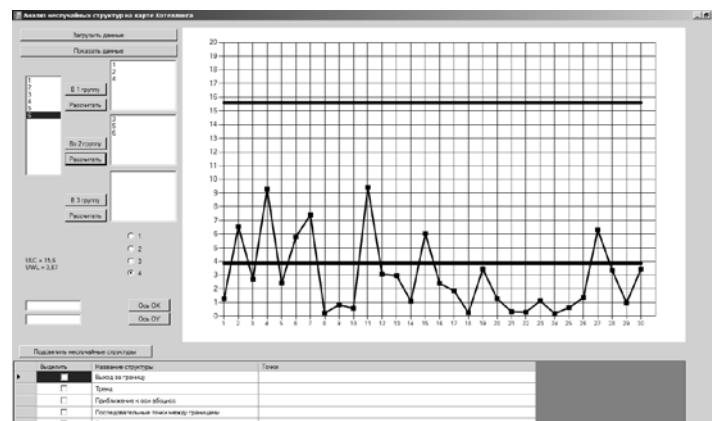
	Номер выборки / Sample number							
Коэффициент детерминации / Determination coefficient	0,67	0,62	0,49	0,42	0,29	0,4	0,36	0,23
Стандартная ошибка / Standard error	0,14	0,27	0,34	0,26	0,37	0,2	0,25	0,24
F-критерий / F-criterion	9,69	7,59	4,39	3,26	1,89	3,18	2,55	1,37
Состав модели / Model structure	x_1, x_2	x_1, x_2	x_1, x_2	x_1, x_2	x_1, x_2	x_1, x_2	x_1, x_2	x_1, x_2
	x_3, x_4	x_4, x_5	x_4, x_5	x_3, x_4	x_4, x_5	x_3, x_4	x_4, x_5	x_3, x_4
	x_6, x_7	x_6, x_7	x_6, x_7	x_6, x_7	x_6, x_7	x_6, x_7	x_6, x_7	x_5, x_6
	x_8	x_8	x_8	x_8	x_8	x_8	x_8	x_7

4. Оценка стабильности процесса очистки воды

Для исследования стабильности процесса очистки как по измеренным значениям физико-химических показателей $x_1 - x_6$, так и по прогнозируемым на основе построенных регрессионных моделей (3) могут быть использованы многомерные контрольные карты Хотеллинга [4–6].

Мониторинг процесса проводился ежемесячно. В соответствии с уровнем корреляций между показателями они были разделены на две группы: 1) x_1, x_2, x_4 ; 2) x_3, x_5, x_6 . Для каждой группы строились свои контрольные карты.

Для повышения эффективности диагностики возможных нарушений процесса использовались различные варианты карты Хотеллинга [7–8]: стандартная карта (о нарушении процесса свидетельствует выход точки за контрольную границу), карта с дополнительным анализом неслучайных структур (тренда, цикличности, резких скачков на карте и т. п.) и карты с предупреждающими границами (попадание последовательности из заданного числа точек между предупреждающей и контрольной границами показывает нестабильность процесса).



Контрольная карта Хотеллинга для оценки стабильности процесса
 Hotelling control chart to assess the stability of the process

На рисунке приведен пример карты Хотеллинга с предупреждающей границей, построенной по группе показателей x_3, x_5, x_6 по данным за апрель. Выбран вариант карты, в котором о нарушении стабильности процесса свидетельствует наличие четырех точек подряд между предупреждающей и контрольной границами. Поскольку такой структуры на карте нет, это свидетельствует о стабильности процесса.

Выводы

Для прогнозирования показателей качества питьевой воды эффективным оказалось построение регрессионных моделей на основе метода случайного поиска с адаптацией. Выбор оптимальных моделей проводился по внутренним и внешним мерам качества. В дальнейшем целесообразно исследовать влияние объема выборки на характеристики полученных моделей. По условиям проведения процесса очистки необходимо, во-первых, получить наиболее точный прогноз на период от одного до четырех дней, а во-вторых, рекомендовать оптимальные дозы флокулянта и коагулянта для очистки воды. Анализ стабильности процесса очистки воды может быть проведен с использованием многомерных карт Хотеллинга различного типа. В этой задаче существенный интерес представляет исследование возможности определения той модификации многомерной карты, которая окажется наиболее чувствительной к предполагаемым нарушениям процесса очистки.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Валеев С.Г., Кадырова Г.Р.** Система поиска оптимальных регрессий. – Казань: ФЭН, 2003. – 160 с.
2. **Валеев С.Г., Родионова Т.Е.** Анализ методов оценки параметров при мультиколлинеарности переменных // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1999. – № 5. – С. 20–28.
3. **Валеев С.Г., Родионова Т.Е., Жаров В.Е.** Методика статистической обработки РСДБ-наблюдений // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2008. – № 1. – С. 13–18.
4. **Клячкин В.Н.** Модели и методы статистического контроля многопараметрического технологического процесса. – М.: Физматлит, 2011. – 195 с.
5. **Montgomery D.C.** Introduction to statistical quality control. – New York: John Wiley and Sons, 2009. – 754 p.
6. **Ryan T.P.** Statistical methods for quality improvement. – New York: John Wiley and Sons, 2011. – 687 p.
7. **Клячкин В.Н., Михеев А.Ю.** Идентификация режима статистического контроля многопараметрического технологического процесса // Автоматизация и современные технологии. – 2011. – № 12. – С. 27–31.
8. **Клячкин В.Н., Кравцов Ю.А.** Диагностика состояния объекта по наличию неслучайных структур на контрольной карте // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2013. – № 5. – С. 44–50.

STATISTICAL METHODS FOR ESTIMATING DRINKING WATER QUALITY INDICATORS

Rodionova T.E., Klyachkin V.N.

Ul'yanovsk State Technical University, Ul'yanovsk, Russia

For the prevention of emergencies regular control of indicators of drinking water quality during the technological process of cleaning in the water treatment constructions is carried out. To solve this problem and to forecast water quality in the near future based on samples of initial measurements of physical and chemical indicators of a water source, regression models of water quality indicators are created. The description of the methods used and the results of calculations

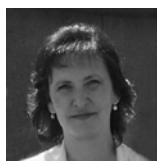
are also provided. To choose the best model internal and external measures of quality are used. Eight samples of forty days each are used in calculations. The most optimized model is obtained by the method of random search with adaptation. The authors propose the rating method of water cleaning process stability based on using multiple variants of Hotelling's multidimensional map: a standard map (an inappropriate process is revealed when the point goes beyond the control border), a map with an additional analysis of non-random structures (a trend, cyclic recurrence, quick surges on the map, etc.) and a map with warning borders (entering a sequence of a predetermined number of points between the warning border and the control border shows a process instability). The investigation of the possibility of determining the multi-dimensional map modification that will be most sensitive to alleged violations of the cleaning process is of particular interest.

Keywords: drinking water, regression model, least square method, stepwise regression, internal and external measures, Hotelling's chart.

REFERENCES

1. Valeev S.G., Kadyrova G.R. *Sistema poiska optimal'nykh regressii* [System of optimal regression search]. Kazan', FEN Publ., 2003. 160 p.
2. Valeev S.G., Rodionova T.E. Analiz metodov otsenki parametrov pri mul'tikollinearnosti peremennykh [Analysis of methods to assess the parameters with variables multicollinearity]. *Izvestiya VUZov. Geodeziya i aerofotos'emka – News of higher education institutions. Geodesy and aerial photography*, 1999, no. 5, pp. 20-28.
3. Valeev S.G., Rodionova T.E., Zharov V.E. Metodika statisticheskoi obrabotki RSDB-nablyudenii [Methods of statistical processing VLBI-measurements]. *Izvestiya VUZov. Geodeziya i aerofotos'emka – News of higher education institutions. Geodesy and aerial photography*, 2008, no. 1, pp. 13-18.
4. Klyachkin V.N. *Modeli i metody statisticheskogo kontrolya mnogoparametricheskogo tekhnologicheskogo protsessa* [Models and methods of statistic control of the multivariable technological process]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2011. 195 p.
5. Montgomery D.C. *Introduction to statistical quality control*. New York, John Wiley and Sons Publ., 2009. 754 p.
6. Ryan T.P. *Statistical methods for quality improvement*. New York, John Wiley and Sons Publ., 2011. 687 p.
7. Klyachkin V.N., Mikheev A.Yu. Identifikatsiya rezhima statisticheskogo kontrolya mnogoparametricheskogo tekhnologicheskogo protsessa [Statistical control mode identification of the polyvalent technological process]. *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii – Automation and modern technology*, 2011, no. 12, pp. 27-31.
8. Klyachkin V.N., Kravtsov Yu.A. Diagnostika sostoyaniya ob'ekta po nalichiyu nesluchainykh struktur na kontrol'noi karte [Diagnostics of a condition of object on presence of not casual structures on the control chart]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika – Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*, 2013, no. 5, pp. 44-50.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Родионова Татьяна Евгеньевна – родилась в 1967 году, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Прикладная математика и информатика» Ульяновского государственного технического университета. Область научных интересов: математическое моделирование, регрессионный анализ, информационные технологии обработки информации. Опубликовано 46 научных работ. (Адрес: 432027, Россия, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32. Email: t.rodionova@ulstu.ru).

Rodionova Tatyana Evgenievna (b. 1967) – C.Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Applied Mathematics and Informatics Department in the Ulyanovsk State Technical University. Her research interests are currently focused on mathematical modeling, regression analysis, information technology, information processing. He is author of 46 scientific papers. (Address: 32, Severniy Venets St., Ulyanovsk, 432027, Russia. Email: t.rodionova@ulstu.ru).



Клячкин Владимир Николаевич – родился в 1950 году, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Прикладная математика и информатика» Ульяновского государственного технического университета. Область научных интересов: математическое моделирование, статистические методы, контроль качества, техническая диагностика. Опубликовано 157 научных работ. (Адрес: 432027, Россия, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32. E-mail: v_kl@mail.ru).

Klyachkin Vladimir Nikolaevich (b. 1950) – D.Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Applied Mathematics and Informatics Department in the Ulyanovsk State Technical University. Her research interests are currently focused on mathematical modeling, statistical methods, quality control, technical diagnostics. He is author of 157 scientific papers. (Address: 32, Severniy Venets St., Ulyanovsk, 432027, Russia. Email: v_kl@mail.ru).

Статья поступила 05 апреля 2014 г.

Received April 05, 2014

To Reference:

Rodionova T.E., Klyachkin V.N. Statisticheskie metody otsenki pokazatelei kachestva pit'voi vody [Statistical methods for estimating drinking water quality indicators]. *Doklady Akademii Nauk Vysshei Shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian Higher School Academy of Sciences*, 2014, no. 2-3 (23-24), pp. 101–110.