

УДК 519.248

**МНОГОМЕРНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА  
ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ****В.Н. Клячкин, Ю.А. Кравцов***Ульяновский государственный технический университет*

Поступающая к потребителю вода должна быть безопасной для его здоровья. Качество воды обеспечивается в процессе ее очистки, при этом регулярно контролируется стабильность физико-химических параметров. Контроль проводится статистическими методами, как правило, с использованием карт Шухарта. Часто контролируемые параметры коррелированы, и применение одномерных методов может вызывать весьма значительные погрешности. Наиболее распространенным статистическим инструментом многомерного контроля является карта Хотеллинга. Основным критерий нарушения стабильности процесса при этом – выход статистики Хотеллинга за контрольную границу карты. Однако применение этого критерия далеко не всегда обеспечивает достаточно оперативное выявление возможных нарушений процесса. Сравнительно недавно был предложен ряд методов более тщательного анализа карты Хотеллинга (исследование структур специального вида, использование предупреждающей границы), позволяющих существенно сократить количество наблюдений от момента нарушения процесса до момента обнаружения этого нарушения. Эти методы применены к контролю процесса очистки питьевой воды. Путем проведения аналитических расчетов и статистических испытаний построены зависимости средней длины серий, характеризующей эффективность контроля, от параметра нецентральности (характеристики нарушения процесса) для различных методов контроля, показана эффективность предложенных подходов.

*Ключевые слова:* физико-химические параметры, карта Хотеллинга, неслучайные структуры, предупреждающая граница, средняя длина серий.

DOI: 10.17212/1727-2769-2015-1-31-40

**Введение**

Требования к качеству питьевой воды регламентированы стандартами. Поступающая к потребителю вода должна быть безопасной для его здоровья, поэтому показатели качества воды должны лежать в пределах допустимых значений. Качество воды обеспечивается в процессе ее очистки, при этом регулярно контролируется стабильность физико-химических параметров воды, поступающей к потребителю.

Контроль проводится статистическими методами, как правило, с использованием карт Шухарта. Часто контролируемые параметры коррелированы, и применение одномерных методов может вызывать весьма значительные погрешности [1–3].

Применение многомерных методов диагностики нарушений в режиме реального времени при использовании компьютерной техники не вызывает затруднений. Наиболее распространенным статистическим инструментом в этом случае является карта Хотеллинга, позволяющая проводить мониторинг процесса с гораздо более высокой точностью. Основным критерий нарушения стабильности процесса при этом – выход статистики Хотеллинга за контрольную границу

---

Исследование выполнено в рамках задания Министерства образования и науки Российской Федерации № 2014/232.

карты. Однако применение этого критерия далеко не всегда обеспечивает достаточно оперативное выявление возможных нарушений процесса. Сравнительно недавно был предложен ряд методов [4–7], позволяющих существенно сократить количество наблюдений от момента нарушения процесса до момента обнаружения этого нарушения. Представляется полезным применить эти методы к контролю процесса очистки питьевой воды и оценить их эффективность.

### 1. Анализ исходных данных

Контролировались семь параметров – физико-химические показатели качества питьевой воды:  $X_1$  – характеристика цветности, град;  $X_2$  – содержание алюминия, мг/дм<sup>3</sup>;  $X_3$  – значение pH;  $X_4$  – содержание хлоридов, мг/дм<sup>3</sup>;  $X_5$  – содержание остаточного хлора, мг/дм<sup>3</sup>;  $X_6$  – окисляемость, мг/дм<sup>3</sup>;  $X_7$  – щелочность, моль/дм<sup>3</sup>. В качестве исходных данных использованы результаты анализа состава питьевой воды после ее очистки на водоканале Санкт-Петербурга. Измерения каждого параметра проводились один раз в сутки в одно и то же время.

Корреляционная матрица параметров представлена на рис. 1. Жирным шрифтом выделены значимые корреляции (проверка значимости проводилась по критерию Стьюдента на уровне 0,05). Матрица свидетельствует о том, что множество контролируемых параметров может быть разбито на три группы, внутри которых параметры коррелированы, при этом между параметрами, входящими в различные группы, значимых корреляций нет: 1)  $X_1, X_4$ ; 2)  $X_2, X_5$ ; 3)  $X_3, X_6, X_7$ . Заметим, что в рассматриваемых данных нет параметров, не коррелированных ни с одним из других (нет групп, включающих только один параметр), поэтому для контроля целесообразно использовать многомерную карту Хотеллинга.

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
X1	1,00000	0,10968	0,15410	<b>0,47945</b>	0,29469	0,11350	0,04850
X2	0,10968	1,00000	0,17827	0,09081	<b>0,41670</b>	0,14008	0,07769
X3	0,15410	0,17827	1,00000	-0,05584	-0,08765	<b>0,40430</b>	<b>-0,33692</b>
X4	<b>0,47945</b>	0,09081	-0,05584	1,00000	0,27064	0,09271	-0,01920
X5	0,29469	<b>0,41670</b>	-0,08765	0,27064	1,00000	0,06782	-0,09915
X6	0,11350	0,14008	<b>0,40430</b>	0,09271	0,06782	1,00000	<b>-0,32598</b>
X7	0,04850	0,07769	<b>-0,33692</b>	-0,01920	-0,09915	<b>-0,32598</b>	1,00000

Рис. 1 – Корреляционная матрица контролируемых параметров

Fig. 1 – Correlation matrix of controllable parameters

### 2. Контрольная карта Хотеллинга

Рассмотрим процесс, в котором контролируются  $p$  коррелированных параметров. Наиболее распространенным методом многомерного статистического контроля является карта Хотеллинга. Для построения этой карты через определенные, как правило равные, промежутки времени проводится по  $n$  наблюдений за

каждым из параметров (берутся так называемые мгновенные выборки) и вычисляются статистики Хотеллинга  $T^2$  для каждой  $t$ -й выборки по формуле [1–2]:

$$T_t^2 = n(\bar{\mathbf{X}}_t - \boldsymbol{\mu}_0)^T \mathbf{S}^{-1}(\bar{\mathbf{X}}_t - \boldsymbol{\mu}_0), \quad (1)$$

где  $\bar{\mathbf{X}}_t$  – вектор средних в мгновенных выборках,  $\bar{\mathbf{X}}_t = (\bar{x}_{t1} \dots \bar{x}_{tp})^T$ ,  $\bar{x}_{tj}$  – среднее значение в  $t$ -й мгновенной выборке ( $t = 1, \dots, m$ ) по  $j$ -му показателю ( $j = 1, \dots, p$ );  $\boldsymbol{\mu}_0$  – вектор целевых средних,  $\boldsymbol{\mu}_0 = (\mu_1 \dots \mu_p)^T$ , где  $t = 1, \dots, m$ ,

$$\mu_j = \frac{1}{mn} \sum_{t=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ijt}, \quad (2)$$

$\mathbf{S}$  – выборочная оценка ковариационной матрицы, определяющая рассеяние значений параметров и корреляции между ними; матрица имеет размерность  $p \times p$ , а ее компоненты определяются по формуле

$$s_{jk} = \frac{1}{m(n-1)} \sum_{t=1}^m \sum_{i=1}^n (x_{ijt} - \mu_j)(x_{ikt} - \mu_k), \quad j, k = 1, \dots, p. \quad (3)$$

Для подтверждения гипотезы о стабильности процесса должно выполняться условие  $T^2 < T_{\text{кр}}^2$ , где  $T_{\text{кр}}^2$  – критическое значение – контрольная граница карты Хотеллинга.

Статистика Хотеллинга имеет хи-квадрат-распределение, если ковариационная матрица известна [1–3]. Критическое значение  $T_{\text{кр}}^2$  при заданном уровне значимости  $\alpha$  можно определить как квантиль распределения хи-квадрат порядка  $p$ :  $T_{\text{кр}}^2 = \chi_{1-\alpha}^2(p)$ .

Если ковариационная матрица неизвестна, критическое значение статистики Хотеллинга рассчитывается по формуле [3]

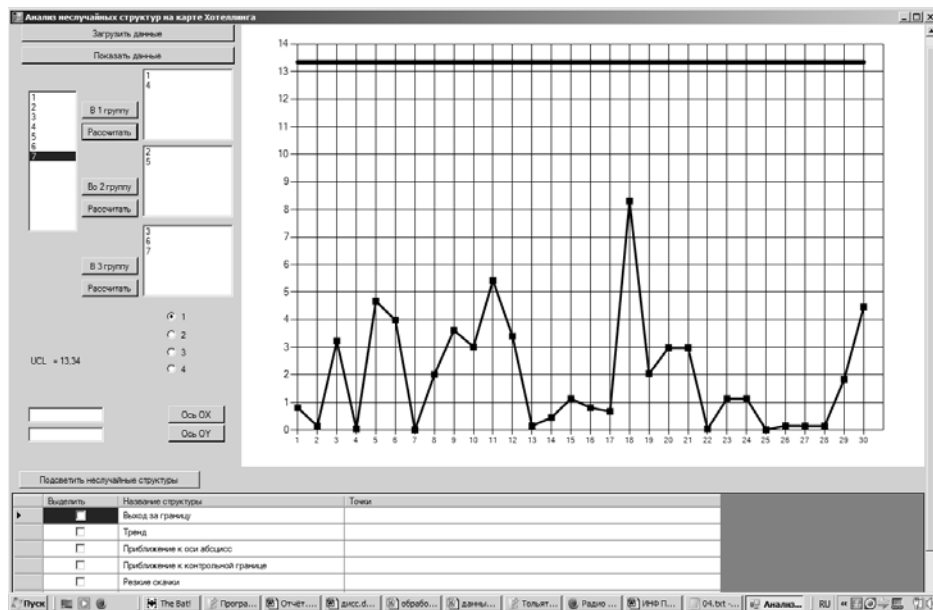
$$T_{\text{кр}}^2 = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn - m - p + 1} F_{1-\alpha}(p, mn - m - p + 1). \quad (4)$$

Часто, как и в рассматриваемой задаче, встречаются случаи, когда использование мгновенных выборок экономически неэффективно. Это может быть связано с различными ситуациями, например, когда контроль является дорогостоящим или разрушающим. В этом случае (при использовании индивидуальных наблюдений вместо мгновенных выборок) положение контрольной границы определяется по формуле

$$T_{\text{кр}}^2 = \frac{p(m-1)}{m-p} F_{1-\alpha}(p, m-p), \quad (5)$$

где  $F_{1-\alpha}(k_1, k_2)$  – квантиль  $F$ -распределения Фишера с числами степеней свободы в числителе  $k_1$ , в знаменателе –  $k_2$ .

На рис. 2 показана карта Хотеллинга, построенная с использованием зависимостей (1)–(3) и (5), для группы параметров  $X_1, X_4$  по выборке объемом 30 наблюдений физико-химических показателей качества питьевой воды за январь 2012 года. Карта свидетельствует о стабильности процесса: нет точек, выходящих за контрольную границу.

Рис. 2 – Карта Хотеллинга по группе параметров  $X_1, X_4$ Fig. 2 – Hotelling's chart on group of parameters  $X_1, X_4$ 

### 3. Методы повышения эффективности карты Хотеллинга

Основной критерий нарушения стабильности процесса – выход статистики Хотеллинга за контрольную границу карты. Однако применение этого критерия далеко не всегда обеспечивает достаточно оперативное выявление возможных нарушений процесса. Для повышения эффективности используется несколько подходов. Одним из них является выявление на карте структур специального вида (см. таблицу), появление которых может свидетельствовать о нарушении процесса [4–5]. При этом под трендом понимается наличие заданного количества точек на контрольной карте Хотеллинга только на возрастание или, наоборот, на убывание. Приближение к оси абсцисс – это расположение точек в нижней трети диапазона между этой осью и контрольной границей карты, а приближение к контрольной границе, напротив, – в верхней трети. Анализируются также резкие скачки на величину  $kT_{кр}^2$  (значения  $k$  приведены в таблице в зависимости от количества контролируемых параметров  $p$ ). Под цикличностью понимается расположение определенного количества точек на карте в шахматном порядке: то выше, то ниже.

Есть основание полагать, что анализ наличия такого типа структур на многомерной карте Хотеллинга также повысит чувствительность этой карты. Ответ на этот вопрос могут дать статистические испытания в соответствующих условиях.

Эффективность контрольных карт также может быть повышена путем использования, наряду с контрольной границей UCL (Upper Control Limit), предупреждающей границы UWL (Upper Warning Limit). Расположение нескольких точек подряд (от двух до четырех) в зоне между предупреждающей и контрольной границами также может быть свидетельством о нарушении процесса. Расчет положения этих границ приведен в статьях [6–7].

**Характеристики структур специального вида на карте Хотеллинга**  
**Characteristics of structures of a special kind on Hotelling's chart**

Структура	Критическое состояние при заданном количестве контролируемых параметров						
	2	3	4	5	6	7	8
Тренд, точек	6	6	6	6	7	7	7
Приближение к оси абсцисс, точек	–	–	15	12	10	9	8
Приближение к контрольной границе, точек	2 из 5	2 из 3	2 из 3, или 3 из 10	2 из 3, или 3 из 9	3 из 8, или 4 из 15	3 из 7, или 4 из 14	3 из 6, или 4 из 13
Резкие скачки, $k =$	0,75	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	0,65
Цикличность, точек	8	9	9	9	9	10	10

#### 4. Мониторинг процесса очистки воды

Для мониторинга и обнаружения нарушений процесса использованы помесечные данные за февраль – декабрь 2012 года. Нарушения различного типа выявлены в трех месяцах, наибольшее количество нарушений стабильности процесса оказалось в апреле.

При мониторинге данных за апрель по параметрам  $X_1$ ,  $X_4$  обычная карта Хотеллинга свидетельствует о стабильности процесса, однако карта с предупреждающей границей показывает наличие четырех точек подряд: с 9-й по 12-ю между предупреждающей и контрольной границами (рис. 3).

За этот же период по параметрам  $X_2$ ,  $X_5$  никаких нарушений не выявлено. По третьей группе параметров  $X_3$ ,  $X_6$ ,  $X_7$  нарушение обнаружено с помощью карты Хотеллинга путем анализа наличия структур специального вида: приближение к оси абсцисс в точках 16–27 (рис. 4).

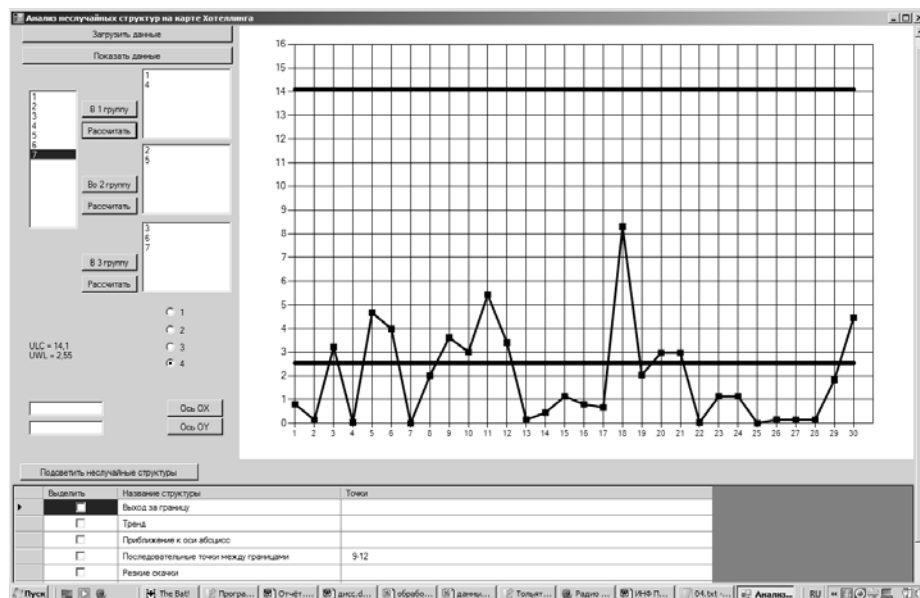


Рис. 3 – Нарушение по группе параметров  $X_1$ ,  $X_4$  обнаружено картой с предупреждающей границей

Fig. 3 – Infringement on group of parameters  $X_1$ ,  $X_4$  is revealed a chart with warning limit

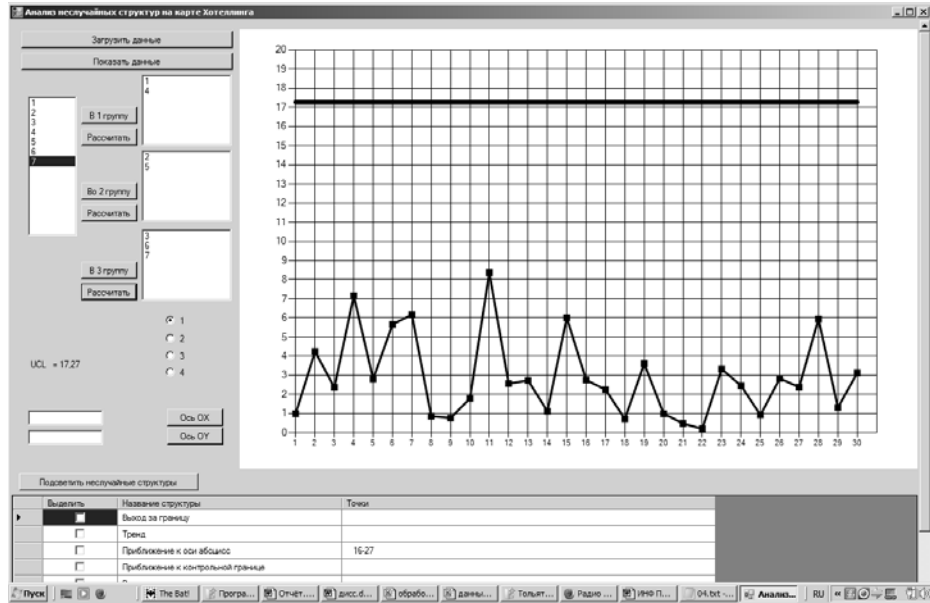


Рис. 4 – По группе параметров  $X_3, X_6, X_7$  нарушение обнаружено с помощью карты Хотеллинга: приближение к оси абсцисс

Fig. 4 – On group of parameters  $X_3, X_6, X_7$  infringement is revealed by means of Hotelling's chart: approach to an axis of abscisses

### 5. Сравнительный анализ эффективности обнаружения нарушений

Эффективность обнаружения нарушений с использованием того или иного алгоритма определяется чувствительностью контрольной карты к возможному нарушению и оценивается количественно по средней длине серий – количеству наблюдений от момента нарушения процесса до момента обнаружения этого нарушения. Эта характеристика для обычной карты Хотеллинга рассчитывается по формуле [1]

$$L(\lambda) = \frac{1}{T_{кр}^2 - \int_0^{T_{кр}} f(t; \lambda) dt}, \quad (6)$$

где параметр нецентральности  $\lambda$  определяется из формулы

$$\lambda^2 = n(\mu - \mu_0)^T S^{-1}(\mu - \mu_0), \quad (7)$$

$(\mu - \mu_0)$  – вектор, характеризующий смещение среднего уровня процесса, а  $f(t; \lambda)$  – плотность распределения статистики Хотеллинга [8].

Для моделирования смещения среднего уровня по параметру  $X_j$  зададим его в долях  $\delta_j$  от оценки соответствующего стандартного отклонения  $s_j$ , начиная с выборки с некоторым номером  $t_0$ :

$$x'_{ij,t} = x_{ij,t} + \delta_j s_j, \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, p; \quad t = t_0, \dots, m. \quad (8)$$

При моделировании тренда каждое из значений  $X_j$ , начиная с выборки с номером  $t_0$ , последовательно увеличивалось на некоторую величину  $\delta_{Tj} s_j$  (здесь  $\delta_{Tj}$  – характеристика тренда процесса по  $j$ -му параметру):

$$x'_{ij,t} = x_{ij,t} + (t - t_0 + 1) \delta_{Tj} s_j. \quad (9)$$

Тогда, например, при моделировании смещения среднего уровня трехпараметрического процесса только по первому показателю на величину  $\delta_1 s_1$  имеем:

$$\boldsymbol{\mu} - \boldsymbol{\mu}_0 = [\delta_1 s_1 \quad 0 \quad 0]^T.$$

Средняя длина серий для различных вариантов карт с предупреждающей границей (с различным количеством точек  $k$ , последовательное попадание которых в зону между предупреждающей и контрольной границами критично с точки зрения стабильности процесса) оценивается аналитически в зависимости от параметра нецентральности [6]:

$$L(\lambda) = \frac{1 - p_W^k}{1 - p_A - p_W + p_A p_W^k}, \quad (10)$$

где  $p_A$  – вероятность попадания статистики Хотеллинга в область нормального хода процесса,

$$p_A = P(T_t^2 < UWL) = F(UWL), \quad (11)$$

$F(x)$  – функция распределения статистики Хотеллинга [8]. Вероятность  $p_W$  попадания точки на карте, соответствующей этой статистике, в переходную область между предупреждающей и контрольной границами рассчитывается по формуле

$$p_W = P(UWL < T_t^2 < UCL) = F(UCL) - F(UWL). \quad (12)$$

Для оценки средней длины серий, связанной со структурами специального вида на карте Хотеллинга, проводились статистические испытания. Моделировались последовательности данных с векторами средних и ковариационными матрицами, идентичными выборкам для параметров питьевой воды. Также моделировались и различные варианты нарушений процессов: смещение среднего уровня и тренд. Количественные характеристики нарушений в формулах (8)–(9) варьировались таким образом, чтобы обеспечить значения параметра нецентральности (7) в диапазоне  $\lambda = 1 - 3$  с шагом 0,5. По результатам статистических испытаний определялось, сколько выборок в среднем необходимо, чтобы карта обнаружила смоделированное нарушение.

Результаты испытаний представлены на рис. 5, где по вертикальной оси отложены значения средней длины серий  $L$ , на горизонтальной – параметра нецентральности  $\lambda$ . На графики для удобства сравнения одновременно нанесены расчетные кривые средней длины серий для обычной карты Хотеллинга без использования специальных структур, а также средней длины серий для карты с предупреждающей границей. Расчеты проведены по формулам (6) и (9)–(12) в системе Mathcad.

Снижение средней длины серий в диапазоне  $\lambda = 1 - 2$  при учете неслучайных структур в этом случае составляет от 1,4 до 2,8 раз (с 9,7 до 3,5 выборок) по сравнению с контролем обычной картой Хотеллинга (когда используется один критерий нарушения процесса – выход точки на карте за контрольную границу). При  $\lambda = 3$  эффективность применения специальных структур снижается и практически совпадает с эффективностью карты с предупреждающей границей, однако она все же несколько выше, чем у обычной карты Хотеллинга.

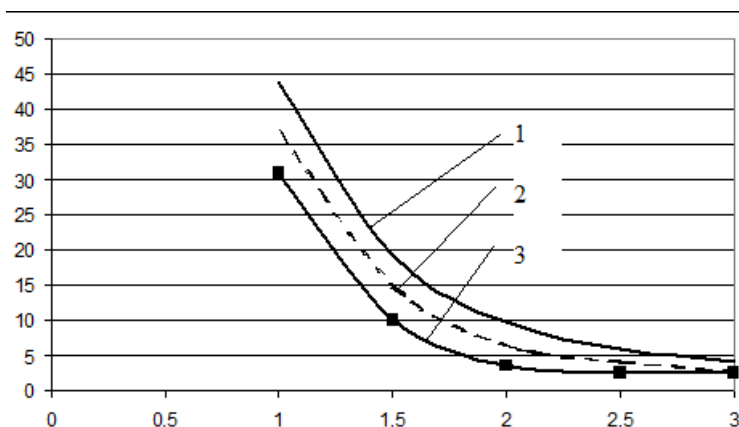


Рис. 5 – Зависимость средней длины серий от параметра нецентральности при контроле двух параметров, нарушение – тренд:

1 – обычная карта Хотеллинга; 2 – карта с предупреждающей границей, 3 – учет структур специального вида на карте Хотеллинга

Fig. 5 – Dependence of average run length on parametre noncentrality at the control of two parametres, infringement – a trend:

1 – usual Hotelling's chart; 2 – a card with warning limit; 3 – the account of structures of a special kind on Hotelling's chart)

### Закключение

Статистический контроль процессов позволяет выявить нарушение процесса до того как контролируемые параметры вышли за пределы допуска и принять соответствующие меры [9]. При проведении многомерного контроля физико-химических параметров, характеризующих качество очистки питьевой воды, предложено наряду с обычной методикой применения карты Хотеллинга (когда процесс считается нарушенным, если имеет место выход точки на карте за контрольную границу) использование новых методов диагностики нарушений, основанных на выявлении структур специального вида, а также применение предупреждающей границы. Эти методы позволяют существенно сократить время до обнаружения нарушения процесса и принять меры к исключению возможных аномальных ситуаций [10].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Клячкин В.Н. Модели и методы статистического контроля многопараметрического технологического процесса. – М.: Физматлит, 2011. – 195 с.
2. Montgomery D.C. Introduction to statistical quality control. – 6th ed. – New York: John Wiley and Sons, 2009. – 754 p.
3. Ryan T.P. Statistical methods for quality improvement. – New York: John Wiley and Sons, 2011. – 687 p.
4. 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.
5. Юнак Г.Л., Годлевский А.Н., Плотников А.Н. Об интерпретации серий на контрольных картах // Методы менеджмента качества. – 2005. – № 4. – С. 41–48.
6. Клячкин В.Н., Кравцов Ю.А. Повышение эффективности статистического контроля многопараметрического технологического процесса на основе карты Хотеллинга с предупреждающей границей // Автоматизация и современные технологии. – 2013. – № 10. – С. 35–37.



7. Клячкин В.Н., Кравцов Ю.А., Святова Т.И. Методы повышения эффективности многомерного статистического контроля // Научные технологии. – 2013. – Т. 14, № 5. – С. 53–58.
8. Вероятность и математическая статистика: энциклопедия / гл. ред. Ю.В. Прохоров. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1999. – 910 с.
9. Уилер Д., Чамберс Д. Статистическое управление процессами: оптимизация бизнеса с использованием контрольных карт Шухарта: пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2009. – 409 с.
10. Родионова Т.Е., Клячкин В.Н. Статистические методы оценки показателей качества питьевой воды // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2014. – № 2–3 (23–24). – С. 101–110.

## MULTIVARIATE STATISTICAL CONTROL OF THE POTABLE WATER TREATMENT PROCESS

Klyachkin V.N., Kravtsov Yu.A.

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russian Federation

Water consumed by people should be safe for their health. The quality of water is provided by its treatment, with the stability of water physical and chemical parameters being regularly monitored in the process of its purification. Control is carried out by statistical methods, as a rule, with the use of Shewhart's control charts. Controllable parameters are often correlated, and the application of one-dimensional methods can result in considerable errors. The most widespread statistical tool of the multivariate control is Hotelling's chart. Hotelling's statistics going beyond the control limit of the chart is the main criterion of the process instability. However the application of this criterion does not always provide prompt detection of possible process failures. Recently a number of methods of a more careful analysis of Hotelling's chart (e.g. an investigation of special kind structures and the use of a warning limit) have been proposed. They make it possible to essentially reduce the number of observations from the moment of the process failure till the moment of this failure detection. These methods can be applied to control the process of potable water treatment. By carrying out analytical calculations and statistical tests the dependence of an average run length, which characterizes the efficiency of control, on the parameter eccentricity (characteristics of a process failure) for various control methods is built. The efficiency of the proposed approaches is also shown.

**Keywords:** physical and chemical parameters, Hotelling's chart, nonrandom structures, warning limit, average run length

DOI: 10.17212/1727-2769-2015-1-31-40

## REFERENCES

1. Klyachkin V.N. *Modeli i metody statisticheskogo kontrolya mnogoparametricheskogo tekhnologicheskogo protsessa* [Models and methods of statistic control of multivariable technological process]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2011. 195 p.
2. Montgomery D.C. *Introduction to statistical quality control*. 6th ed. New York, John Wiley and Sons, 2009. 754 p.
3. Ryan T.P. *Statistical methods for quality improvement*. New York, John Wiley and Sons, 2011. 687 p.
4. 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.
5. Yunak G.L., Godlevskii A.N., Plotnikov A.N. Ob interpretatsii serii na kontrol'nykh kartakh [About interpretation of series on control charts]. *Metody menedzhmenta kachestva – Methods of Quality Management*, 2005, no. 4, pp. 41–48.
6. Klyachkin V.N., Kravtsov Yu.A. Povyshenie effektivnosti statisticheskogo kontrolya mnogoparametricheskogo tekhnologicheskogo protsessa na osnove karty Khotellinga s

- preduprezhdayushchei granitse [Statistical control efficiency increase of the polyvalent technological process from the Hotelling's card with warning border]. *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii – Automation and modern technology*, 2013, no. 10, pp. 35–37.
7. Klyachkin V.N., Kravtsov Yu.A., Svyatova T.I. Metody povysheniya effektivnosti mnogomernogo statisticheskogo kontrolya [Methods of increase of efficiency of the multidimensional statistical control]. *Naukoemkie tekhnologii – Science Intensive Technologies*, 2013, vol. 14, no. 5, pp. 53–58.
  8. Prokhorov Yu.V., ed. *Veroyatnost' i matematicheskaya statistika. Entsiklopediya* [Probability and the mathematical statistics. The encyclopedia]. Moscow, Bol'shaya Rossiiskaya entsiklopediya Publ., 1999. 910 p.
  9. Wheeler D.J., Chambers D.S. *Understanding statistical process control*. Tennessee, Knoxville, SPC Press, 1992. 406 p. (Russ. ed.: Uiler D., Chambers D. *Statisticheskoe upravlenie protsessami. Optimizatsiya biznesa s ispol'zovaniem kontrol'nykh kart Shukharta*. Moscow, Al'pina Biznes Buks Publ., 2009. 409 p.).
  10. Rodionova T.E., Klyachkin V.N. Statisticheskie metody otsenki pokazatelei kachestva pit'evoi vody [Statistical methods of definition of 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.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



**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 165 научных работ. (Адрес: 432027, Россия, Ульяновск, ул. Северный Венец, 32. Email: v\_kl@mail.ru).

**Klyachkin Vladimir Nikolaevich** (b. 1950) – Doctor of Sciences (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 and technical diagnostics. He is author of 157 scientific papers. (Address: 32, Severniy Venets St., Ulyanovsk, 432027, Russian Federation. Email: v\_kl@mail.ru).



**Кравцов Юрий Андреевич** – родился в 1988 году, аспирант кафедры «Прикладная математика и информатика» Ульяновского государственного технического университета. Область научных интересов: статистические методы, контроль качества. Опубликовано 15 научных работ. (Адрес: 432027, Россия, Ульяновск, ул. Северный Венец, 32. Email: ukravtsov@rambler.ru).

**Kravtsov Yuri Andreevich** (b. 1988) – post-graduate student of the Applied Mathematics and Informatics Department in the Ulyanovsk State Technical University. Her research interests are currently focused on statistical methods and quality control. He is author of 15 scientific papers. (Address: 32, Severniy Venets St., Ulyanovsk, 432027, Russian Federation. Email: ukravtsov@rambler.ru).

Статья поступила 27 января 2015 г.  
Received January 27, 2015

#### To Reference:

Klyachkin V.N., Kravtsov Yu.A. Mnogomernyi statisticheskii kontrol' protsessa oчитки pit'evoi vody [Multivariate statistical control of the potable water treatment process]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2015, no. 1 (26), pp. 31–40. doi: 10.17212/1727-2769-2015-1-31-40