

В.И. КИЧИГИН
Е.Д. ЧЕРНЯГИНА

ДЗЕТА-ПОТЕНЦИАЛ КАК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА ВОДЫ

**THE ZETA-POTENTIAL AS A UNIVERSAL
TECHNOLOGICAL INDICATOR OF WATER QUALITY**

Установлено, что в процессе мойки автотранспорта существенно менялись такие показатели качества воды, как ее цветность, мутность и щелочность. Изменения значений других показателей были в пределах статистических погрешностей. Доказано, что с увеличением цветности воды (и, вероятно, ее мутности) диапазон изменения значений дзета-потенциала (ζ -потенциала) сужался. В сточной воде, по сравнению с исходной, диапазон изменения значений щелочности был значительно шире, но при меньшем интервале изменения ζ -потенциала. Были выявлены зависимости изменения ζ -потенциала от физико-химических показателей исходной и сточной воды.

Ключевые слова: дзета-потенциал, исходная и сточная вода, электрофоретическая подвижность, автомобильные мойки

Were identified based on the changes in ζ -potential from physical and chemical indicators of source and waste waters. It is established that in the process of washing vehicles changed significantly such water quality parameters as its color, turbidity and alkalinity. Change the values of other indicators were within the statistical errors. It is proved that the increase of colour of water (and, probably, its turbidity) the range of values of the zeta-potential (ζ -potential) has narrowed. In the waste water compared to the original, the range of alkalinity values was much wider, but with a smaller range of changes in ζ -potential.

Key words: zeta-potential, source and waste water, electrophoretic mobility, car wash

В последние годы на дорогах России возросло количество автомобильного транспорта, а соответственно и число предприятий сервисного обслуживания, в том числе установок для мойки машин. С целью выполнения требований Водного кодекса РФ по рациональному использованию водных ресурсов и охраны окружающей среды от загрязнения, обязательной целью инженерного обеспечения работы моек автотранспорта является создание системы оборотного водоснабжения с доочисткой сбрасываемого избытка оборотной воды до допустимых концентраций. Нарушения чреваты штрафами, поэтому во избежание проблем требуется регулярно проводить анализ состава сточных вод, не дожидаясь визита контролирующих органов, для которых проблемы в работе очистных сооружений не являются оправданием.

Для проведения химического анализа воды необходимы специализированные лаборатории. Это дорого, неоперативно и имеет воспроизводимость химических анализов в пределах $\pm 30\%$. В подобном случае возникают ситуации, требующие проведения экспресс-анализа воды непосредственно на объекте водоснабжения. Вот почему целесообразнее было бы найти универсальный экспресс-показатель качества воды, который мог бы оценить общее влияние основных загрязнений на качество очищенной воды. Возможно, что таким показателем может стать величина

дзета-потенциала (ζ -потенциала) воды, являющегося мерой устойчивости частиц коллоидной степени дисперсности.

Исследования проводились на воде после мойки легкового автотранспорта, отличающейся как видовым разнообразием, так и фазово-дисперсным составом загрязнений [1–3]. Пробы воды отбирались на автомобильных мойках, находящихся в Самаре (пос. Управленческий) по адресам: ул. Солдатская, д. 22 и ул. Ветвистая (КД № 53.346776, 50.202649). Для исследования отбирали два вида воды – исходную и сточную. Исходной водой служила водопроводная, забираемая из городской сети. Сточная – это вода после мойки автотранспорта, загрязненная взвешенными и коллоидными веществами и различными реагентами. Основным химическим реагентом на обеих мойках был концентрированный автошампунь – AutoClean Standart в соотношении 1:6.

Продолжительным обследованием водного хозяйства 34 предприятий Средневолжского транспортного управления (СВТУ) было установлено [2], что основными загрязнениями моечных вод являются взвешенные и эфирорастворимые вещества (табл.1 и 2).

В настоящей статье все полученные результаты исследований были обработаны методами математической статистики по методикам [4] при уровне значимости $q = 0,05$.

Таблица 1

Качество моечных вод [2, табл. 6.4]

Показатель	Средние значения	Показатель	Средние значения
Взвешенные вещества, мг/дм ³	7878 ± 826	ХПК, мгО ₂ /дм ³	248,5 ± 153,8
Эфирорастворимые, мг/дм ³	50 ± 22	pH	7,6 ± 0,3
Щелочность (общ.), мг-экв/дм ³	1,9 ± 1,3	Жесткость (общ.), мг-экв/дм ³	5,1 ± 1,0
Окисляемость по КМнО ₄ , мгО ₂ /дм ³	25,5 ± 14,0		

Таблица 2

Качество моечных вод [2, табл. 6.6]

Вид осадка	Объем выпавшего осадка, дм ³ /м ³	Часть от общего объема, %	Расчетная скорость осаждения, мм/с
Крупный песок	6,6 ± 6,5	17,0	12,9 ± 5,5
Мелкий песок	9,5 ± 3,5	24,7	2,7 ± 1,2
Глинистые частицы	22,7 ± 12,0	58,3	0,19 ± 0,13
Всего:	38,8 ± 11,3	100,0	–

Доказано [1,2], что основу осадка (77,3 % от общей его сухой массы) составляют частицы размерами менее 1,0 мм. Масса наиболее трудноудаляемых при водоочистке частиц крупностью менее 0,25 мм составляет 28,5 ± 11,1 %. Эти частицы состоят из мелкого песка (24,5 % от общего объема) и глины. После естественного уплотнения осадка в течение 1,5 ч он имеет объемную массу 2,9 ± 1,7 т/м³ при влажности 82,6 ± 6,0 %. Скорость осаждения песчинок при 20 °С равняется 1,8 ± 0,6 мм/с, а скорость полного осаждения загрязнений мельче 0,25 мм – 0,13 мм/с.

При скорости осаждения (всплывания) $\theta_0 = 0,074$ мм/с в осадок выпадает 98,4 % общего количества взвешенных веществ и всплывает 11,3 % эфирорастворимых. При $\theta_0 = 0,0139$ мм/с степень извлечения взвеси составляет не менее 99,8 %, а в осветленной воде остается 25-50 мг/дм³ взвешенных веществ и 10-15 мг/дм³ эфирорастворимых при средней исходной концентрации загрязнений соответственно 10,4 ± 0,3 и 89,5 ± 57,6 мг/дм³. В работе [1] было показано, что синтетические моющие средства (СМС), в основном отрицательно заряженные анионоактивные, существенно снижают скорость осаждения взвешенных веществ, особенно глинистых, составляющих почти 60 % от общего количества загрязнений. Кинетика выпадения этих частиц из стоков сравнительно устойчива только при концентрации СМС менее 3,0 мг/дм³ и удовлетворительно описывается зависимостью

$$G = 4,86 (1 - \exp[-\alpha\theta]) + C (1 - \exp[-\alpha\theta]),$$

где G – объем выпавшего осадка, дм³/м³; C – концентрация СМС в стоке; θ – скорость осаждения загрязнений при 10 °С; α – эмпирический коэффициент, принимаемый в зависимости от концентрации величины C :

C , мг/дм ³	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
α	1,76	0,94	0,67	0,99	1,87	3,31

Согласно ранее существовавшим нормам, концентрация загрязнений в оборотной воде, используемой для мойки автотранспорта, не должна была превышать 40 мг/дм³ для легковых автомобилей и автобусов и 70 мг/дм³ – для грузового транспорта. По нефтепродуктам соответственно – 15 и 20 мг/дм³. В настоящее время в основном используется бесконтактная мойка с помощью кёрхера, для которого допустимо качество исходной воды на 1-1,5 порядка выше. Таким образом, большая и разнообразная загрязненность стока после мойки автотранспорта требует создания новых прогрессивных систем и технологических схем его обработки, основанных как на изучении физико-химического состава и свойств загрязнений, так и на надежном и сравнительно дешевом способе контроля над степенью очистки этих вод.

В нашем случае оба предприятия использовали бесконтактную мойку с помощью кёрхера по следующей технологии. Сначала моют машину струей чистой воды, для смягчения грязи. Затем покрывают ее слоем пены, используя специальную насадку к аппарату высокого давления (на втором предприятии мойщики наносили пену вручную). Затем высоконапорной струей чистой воды смывалась вся пена. Последняя стадия мытья кузова – специальной прорезиненной тряпкой вручную сверху вниз стягивалась вся вода, чтобы не оставлять разводов на корпусе автомобиля. Обычно перед нанесением шампуня вынимают и моют коврики, затем пылесосят салон и багажник, моют окна изнутри (если это нужно).

На кафедре водоснабжения и водоотведения Самарского государственного архитектурно-строительного университета было создано устройство [5] для определения величины дзета-потенциала, приведенное на рис. 1, работающее на амперометрическом методе определения электрофоретической подвижности коллоидных частиц. Электрическая схема собирается следующим образом. Находящиеся в измерительной камере электроды подключались к источнику питания (рис.1, а) с соблюдением полюсов. К линии одного из электродов подключался миллиамперметр (рис.1, б).

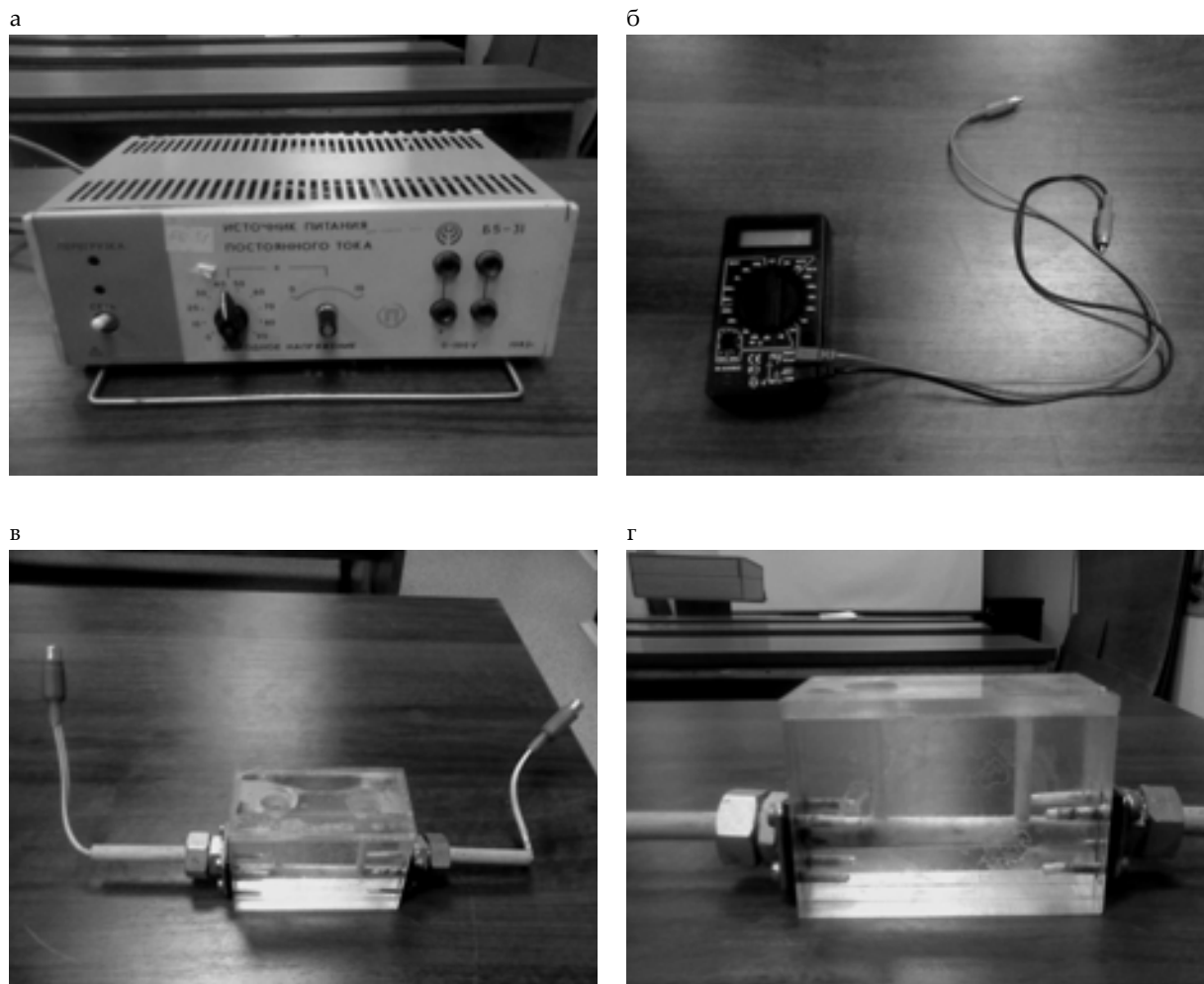


Рис. 1. Общий вид измерительного устройства [1]:
а – источник питания постоянного тока Б5-31; б – миллиамперметр М-830ВЗ;
в, г – измерительные камеры с двумя электродами

Напряжение на источнике питания постоянного тока не превышало 50 В. После сборки электрической схемы и заполнения измерительной камеры (рис. 1, в, г) исследуемой жидкостью источник постоянного тока подключался к электрической сети. Затем через 10–15 с на источнике питания одновременно с секундомером включался тумблер в положение «СЕТЬ». В камере создавалось постоянное электрическое поле, под действием которого частицы загрязнений двигались к противоположно заряженному электроду. Разряжаясь на электроде, эти частицы изменяли силу тока, которая фиксировалась миллиамперметром. Секундомер выключался, когда сила тока достигала максимального значения. Зафиксированное время (в секундах) и максимальное значение силы тока (в амперах) записывались в рабочий журнал.

Расчет дзета-потенциала проводился по уравнению Гельмгольца – Смолуховского [6, с. 201]:

$$\zeta = \frac{k\pi\eta U 300^2}{\varepsilon}, \quad (1)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость жидкости, Ф/м; η – вязкость жидкости, Па·с; k – постоянная, зависящая от формы частиц (для сферических частиц $k = 60$); U – электрофоретическая подвижность, а также ее упрощенная форма для разбавленных водных растворов при 20 °С:

$$\zeta = 1,42 \cdot 10^6 \cdot u, \text{ мВ.} \quad (2)$$

Учитывая, что для разных времен года температура воды будет отличаться от 20 °С, то необходимо внести поправку на изменение ее вязкости:

$$\zeta = (1,42 \cdot 10^6 \cdot \eta \cdot u) / \eta_{(20^\circ\text{C})}, \text{ мВ.} \quad (3)$$

Параллельно в паспортизированной, аттестованной гидрохимической лаборатории кафедры водоснабжения и водоотведения Самарского государственного технического университета проводили

количественный химический анализ исследуемой воды. После расчета ζ -потенциала выявлялась его зависимость от некоторых показателей физико-химического состава исходной и сточной вод. Каждый анализ проводился в соответствии с Природоохранными нормативными документами федеративными (ПНД Ф) по методикам, которые использует данная лаборатория [7–13]. Определялись значения таких показателей, как: *pH*, *цветность*, *мутность*, *щелочность*, *жесткость*, *кальций*, *магний* и *хлориды*. Результаты представлены в табл. 3 и 4. Обобщенная среднегодовая статистическая характеристика проведенных исследований, рассчитанная по данным табл. 3 и 4 при уровне значимости $q = 0,05$, приведена в табл. 5.

По полученным результатам были построены зависимости изменения величины ζ -потенциала от цветности (рис. 2 и 3) и щелочности (рис. 4 и 5) воды. На каждом графике нанесено по 24 точки, которые были разбиты на две группы: автомойка № 1 – синий цвет и автомойка № 2 – красный цвет.

Анализ данных, приведенных в табл. 3–5, показал, что для автомойки № 1 величина ζ -потенциала *исходной* воды изменялась от $14,9 \pm 2,0$ до $45 \pm 1,0$ мВ (табл. 3) при среднегодовой его величине $X = 31,8 \pm 9,0$ мВ (табл. 5). Для сточной воды ζ -потенциал находился в пределах $17,4 \pm 1,0$ ÷ $35,3 \pm 1,0$ (табл. 3) при $X = 25,2 \pm 5,2$ мВ (табл. 5). Среднегодовой показатель общей жесткости воды равнялся $12,3 \pm 1,3$ мг-экв/дм³ и на 78 % создавался солями Ca^{2+} , а общей жесткости *сточной* воды – $X = 13,8 \pm 1,9$ мг-экв/дм³ и на 73,9 % был представлен солями кальция (табл. 5).

Для мойки № 2 ζ -потенциал *исходной* воды изменялся от $14,7 \pm 1,0$ до $65,3 \pm 2,0$ мВ (табл. 4). Средняя годовая величина этого показателя $X = 32,8 \pm 9,2$ мВ (табл. 5). Дзета-потенциал *сточной* воды изменялся от $14,1 \pm 2,0$ до $46,6 \pm 10,0$ мВ (табл. 4), а среднегодовая величина $X = 25,2 \pm 9,2$ мВ (табл. 5). Среднегодовой показатель общей жесткости *исходной* воды равнялся $12,3 \pm 1,1$ мг-экв/дм³ и на 79,7 % состоял из солей Ca^{2+} . Общая жесткость *сточной* воды $X = 12,7 \pm 1,2$ мг-экв/дм³ и на 73,2 % была представлена солями кальция (табл. 5).

Было установлено (табл. 3–5), что в процессе мойки автотранспорта существенно менялись такие показатели качества воды, как ее *цветность*, *мутность* и *щелочность*. Изменение значений других показателей были в пределах статистических погрешностей.

После анализа зависимости изменения величины ζ -потенциала от цветности исследуемой воды (табл. 3, 4 и рис. 2, 3) были выявлены некоторые закономерности. Например, для *исходной* воды (рис. 2) основная часть точек находилась в пределах изменения ее цветности от 5 до 10 град по платино-кобаль-

товой шкале (ПКШ) и диапазона изменения значений ζ -потенциала – от 10 до 40 мВ. Для *сточной* воды (рис. 3) основное сосредоточение точек было в зоне изменения ее цветности от 12 до 53 град по ПКШ и изменении величины ζ -потенциала от 14 до 32 мВ. Таким образом, с увеличением цветности воды (и, вероятно, ее мутности) диапазон изменения значений ζ -потенциала сужался.

Для подтверждения рассмотрим несколько точек. Так, для точки «Осень 2 (син)» значения ζ -потенциала в исходной воде было равно 38,8 мВ при цветности 13,7 град (рис. 2), а в сточной воде ζ -потенциал уменьшался до 35,3 мВ, при увеличении цветности до 95,8 град (рис. 3). Минимальные значения ζ -потенциала наблюдались в летний период (10–15 В). Весной и осенью значения зависимости ζ -потенциала от цветности в исходной и сточной водах были разбросаны. Вероятно, причиной этого могли служить сезонные изменения погодных условий.

Анализ зависимостей ζ -потенциала от *щелочности* исходной и сточной вод (рис. 4 и 5) показал, что в сточной воде, по сравнению с исходной, диапазон изменения значений щелочности был значительно шире, но при меньшем интервале изменения ζ -потенциала. Так, для *исходной* воды зона расположения основного скопления контрольных точек была в диапазонах изменения щелочности от 4,7 до 5,2 мг-экв/дм³ и ζ -потенциал – от 19 до 48 мВ, а для *сточной* в пределах изменений щелочности от 5 до 11 мг-экв/дм³ и ζ -потенциал – от 11 до 31 мВ.

Выводы. 1. Установлено, что в процессе мойки автотранспорта существенно менялись такие показатели качества воды, как ее *цветность*, *мутность* и *щелочность*. Изменение значений других показателей были в пределах статистических погрешностей.

2. Установлено, что для автомойки № 1 величина ζ -потенциала *исходной* воды изменялась от $14,9 \pm 2,0$ до $45 \pm 1,0$ мВ при среднегодовой его величине $X = 31,8 \pm 9,0$ мВ. Для *сточной* воды ζ -потенциал находился в пределах $17,4 \pm 1,0$ ÷ $35,3 \pm 1,0$ при среднегодовом значении, равном $25,2 \pm 5,2$ мВ. Для мойки № 2 ζ -потенциал *исходной* воды изменялся от $14,7 \pm 1,0$ до $65,3 \pm 2,0$ мВ. Средняя годовая величина этого показателя равнялась $32,8 \pm 9,2$ мВ. Дзета-потенциал *сточной* воды изменялся от $14,1 \pm 2,0$ до $46,6 \pm 10,0$ мВ, а среднегодовая величина равнялась $25,2 \pm 9,2$ мВ. Снижение ζ -потенциала и сужение его диапазона для сточных вод, вероятно, было вызвано применением моющих веществ на автомобильных мойках. Минимальные значения ζ -потенциала наблюдались летом, а максимальные – в весенний период.

3. Для мойки № 1 среднегодовой показатель общей жесткости *исходной* воды равнялся $12,3 \pm 1,3$ мг-экв/дм³

Обобщенные результаты исследований физико-химических качеств воды на автомойке №1

Таблица 3

№ п/п	Исследуемая вода	Дата исследования	ζ-потенциал, мВ	pH	Температура, °С	Цветность, град	Мутность, мг/дм³	Щелочность, ммоль/дм³	Кальций, мг-экв/дм³	Магний, мг-экв/дм³	Общая жесткость, мг-экв/дм³	Хлориды, мг/дм³
1	Исходная	24.03.2016	35,6±7	7,04	19	24,87	0,46	5,40	8,50	5,40	13,90	4,10
	Сточная		29,9±3	6,91	19	214,80	15,00*	12,10	14,55	5,55	20,10	7,82
2	Исходная	14.04.2016	14,9±2	7,36	19	7,46	Отсут.	5,50	9,80	1,10	10,90	7,60
	Сточная		15,3±3	7,09	19	206,00	8,20*	8,10	8,55	3,55	12,10	7,82
3	Исходная	05.05.2016	62,2±3	7,22	20	27,36	Отсут.	5,00	8,50	2,80	11,30	5,90
	Сточная		33,8±4	7,05	19	207,20	5,90*	8,10	7,55	3,55	11,10	4,82
4	Исходная	20.07.2016	14,4±1	6,94	24	5,02	Отсут.	6,00	10,50	5,00	15,50	8,40
	Сточная		14,3±1	6,40	25	40,70	3,50*	19,10	9,55	3,55	13,10	8,32
5	Исходная	28.07.2016	23,8±5	6,95	25	6,63	Отсут.	5,20	11,90	3,40	15,30	8,20
	Сточная		16,3±2	6,51	24	32,50	4,30*	5,10	14,55	2,55	17,10	7,82
6	Исходная	05.08.2016	21,4±1	7,31	24	4,15	Отсут.	5,80	10,30	4,60	14,90	7,90
	Сточная		22,1±2	7,02	25	40,70	2,90*	4,10	9,55	3,55	13,10	6,82
7	Исходная	21.10.2016	34,2±2	6,85	19	23,15	0,33	5,50	9,70	1,40	11,10	3,90
	Сточная		33,2±1	6,47	19	153,50	17,80*	14,10	14,55	3,55	18,10	8,82
8	Исходная	03.11.2016	38,8±1	7,01	18	13,67	Отсут.	5,40	8,10	1,40	9,50	4,00
	Сточная		35,3±1	6,84	19	95,80	14,30*	10,10	8,55	4,55	13,10	5,82
9	Исходная	15.11.2016	45,3±1	6,93	17	12,08	отсут.	5,20	9,30	1,50	10,80	5,40
	Сточная		31,3±2	6,79	18	51,20	5,50*	9,10	7,55	4,55	12,10	8,82
10	Исходная	02.12.2016	34,5±1	7,10	15	4,82	Отсут.	5,10	9,40	2,30	11,70	6,80
	Сточная		28,9±1	6,50	16	12,20	4,40*	12,10	8,55	2,55	11,10	7,82
11	Исходная	13.12.2016	32,1±1	6,85	16	5,15	Отсут.	4,70	9,00	2,00	11,00	7,00
	Сточная вода		24,7±1	6,64	16	15,60	4,00*	10,10	9,55	2,55	12,10	9,82
12	Исходная	21.12.2016	23,6±1	7,00	16	5,05	Отсут.	4,90	9,90	2,30	12,20	7,20
	Сточная		17,4±1	6,95	17	14,10	2,90*	10,10	9,55	3,05	12,60	9,82

* – значения «мутности» отстоянной воды.

Таблица 4

Обобщенные результаты исследований физико-химических качеств воды на автомойке №2

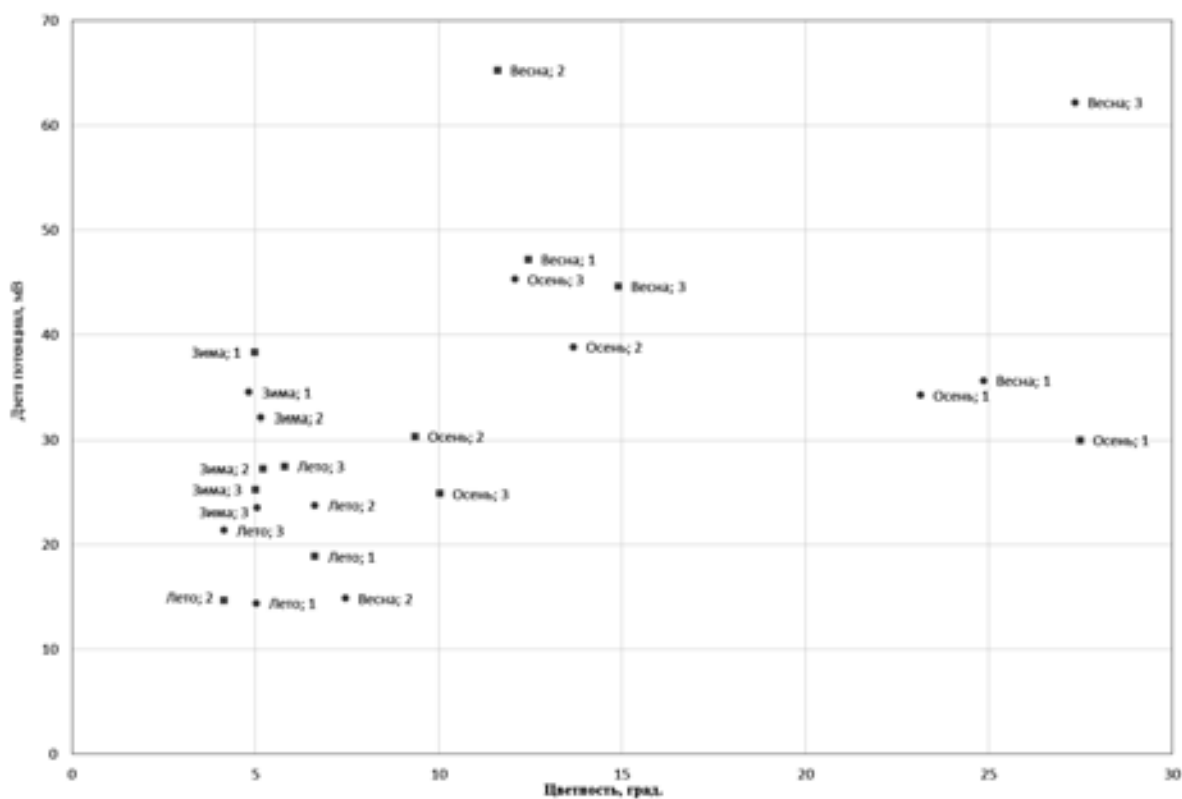
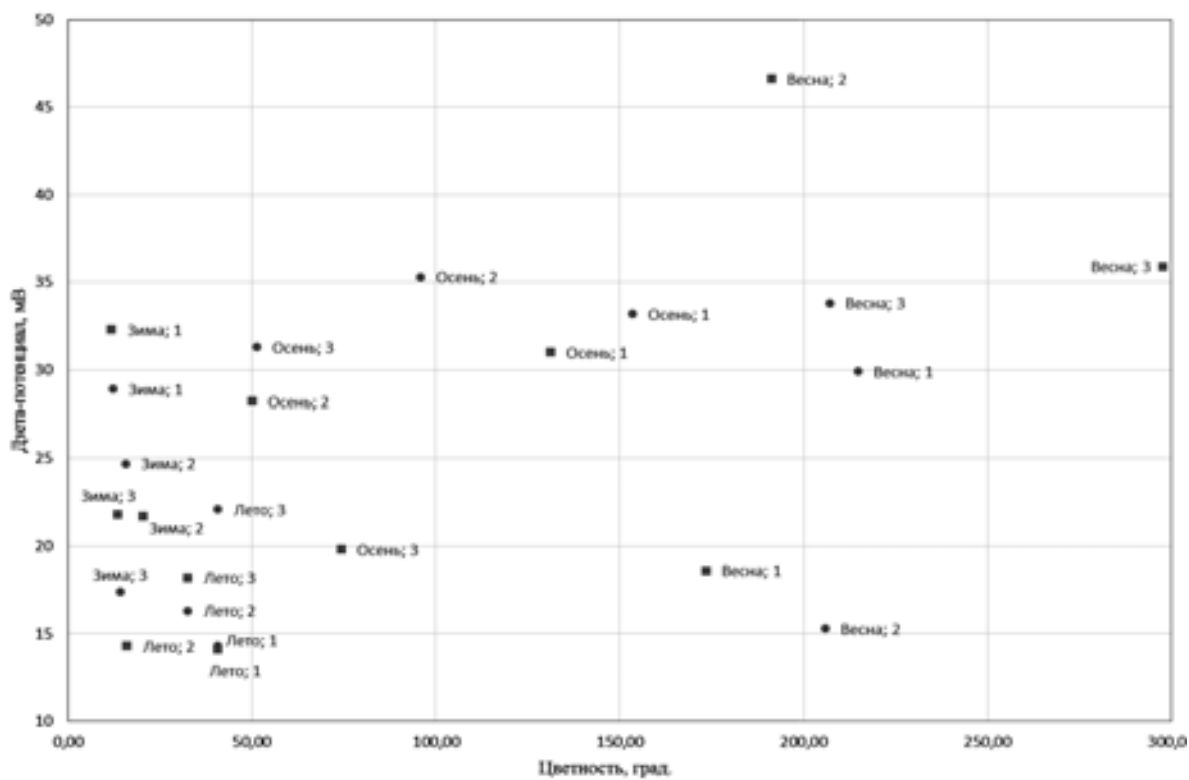
№ п/п	Исследуемая вода	Дата исследования	ζ-потенциал, мВ	рН	Температура, °С	Цветность, град	Мутность, мг/дм ³	Щелочность, ммоль/дм ³	Кальций, мг-экв/дм ³	Магний, мг-экв/дм ³	Общая жесткость, мг-экв/дм ³	Хлориды, мг/дм ³
1	Исходная	31.03.2016	47,2±4	7,31	17	12,44	Отсут.	5,00	10,00	3,30	13,30	7,70
	Сточная		18,5±5	6,88	17	173,40	17,30*	9,10	9,55	0,45	10,00	6,82
2	Исходная	28.04.2016	65,3±2	7,04	22	11,61	Отсут.	5,00	8,00	3,40	11,40	6,00
	Сточная		46,6±10	7,12	20	191,40	14,10*	10,10	9,55	1,55	11,10	5,82
3	Исходная	19.05.2016	44,6±13	7,09	22	14,90	Отсут.	5,50	7,00	1,80	8,80	3,80
	Сточная		35,9±7	6,63	21	297,70	16,50*	11,10	7,55	4,55	12,10	4,82
4	Исходная	27.07.2016	18,9±5	7,34	25	6,63	Отсут.	5,00	11,00	3,80	13,80	7,30
	Сточная		14,1±2	6,67	25	40,70	7,00*	5,10	11,55	3,55	15,10	4,82
5	Исходная	02.08.2016	14,7±1	7,12	25	4,15	Отсут.	5,40	10,80	3,40	14,20	7,60
	Сточная		14,3±1	6,56	25	15,90	4,40*	6,10	10,55	3,55	14,10	5,82
6	Исходная	10.08.2016	27,5±5	7,25	24	5,80	Отсут.	5,90	10,90	4,20	15,10	8,10
	Сточная		18,2±1	6,98	24	32,50	7,50*	8,10	11,55	4,55	16,10	7,82
7	Исходная	27.10.2016	30,0±1	6,72	18	27,50	0,12	4,90	10,10	1,90	12,00	6,50
	Сточная		31,0±1	6,53	19	131,10	16,60*	9,10	8,55	3,55	12,10	6,82
8	Исходная	09.11.2016	30,4±1	7,11	18	9,36	0,24	5,10	9,10	1,80	10,90	6,00
	Сточная		28,1±1	6,91	18	50,00	14,80*	10,10	8,55	3,55	12,10	6,82
9	Исходная	24.11.2016	24,9±1	7,08	17	10,04	Отсут.	4,80	10,70	2,10	12,80	7,90
	Сточная		19,8±1	6,81	17	74,20	8,00*	8,10	7,55	5,55	13,10	7,82
10	Исходная	07.12.2016	38,3±2	6,71	14	4,98	Отсут.	4,80	9,20	2,20	11,40	6,90
	Сточная		32,3±2	6,68	15	11,80	5,90*	9,10	7,55	3,55	11,10	8,82
11	Исходная	16.12.2016	27,3±1	6,57	14	5,21	Отсут.	5,00	10,20	1,80	12,00	7,10
	Сточная вода		21,7±1	6,43	15	20,30	4,20*	11,10	9,55	3,55	13,10	10,82
12	Исходная	26.12.2016	25,3±1	6,91	15	5,00	Отсут.	5,10	10,10	1,80	11,90	7,40
	Сточная		21,8±1	6,72	15	13,40	3,00*	13,10	9,55	2,55	12,10	11,82

* – значения «мутности» отстоянной воды.

Таблица 5

Обобщенная среднегодовая статистическая характеристика проведенных исследований

Исследуемая вода	Статистические параметры	Значения по показателям качества воды									
		ДП, мВ	рН	t, °С	цветность, град, по ПКШ	мутность, мг/дм³	щелочность, ммоль/дм³	хлориды, мг/дм³	жесткость, мг-экв/дм³		
									по Са²⁺	по Mg²⁺ общая	
Данные по автомойке №1											
Исходная	x _{ср.}	31,8	7,1	19,3	11,6	0,07	5,3	6,4	9,6	2,8	12,3
	S	13,6	0,2	3,4	8,7	0,16	0,37	1,7	1,03	1,5	2,0
	m _x	9,0	0,1	2,2	5,7	0,10	0,2	1,1	1,6	1,0	1,3
	X	31,8±9,0	7,1±0,1	19,3±2,2	11,6±5,7	0,07±0,10	5,3±0,2	6,4±1,1	9,6±1,6	2,8±1,0	12,3±1,3
Сточная	x _{ср.}	25,2	6,8	19,7	90,4	7,4*	10,2	7,9	10,2	3,6	13,8
	S	7,9	0,2	3,2	81,9	5,3*	4,1	1,5	2,7	0,9	2,9
	m _x	5,2	0,16	2,1	54,1	3,5*	2,7	1,0	1,8	0,6	1,9
	X	25,2±5,2	6,8±0,16	19,7±2,1	90,4±54,1	7,4±3,5*	10,2±2,7	7,9±1,0	10,2±1,8	3,6±0,6	13,8±1,9
Данные по автомойке №2											
Исходная	x _{ср.}	32,8	7,0	19,2	9,8	0,03	5,1	6,9	9,8	2,6	12,3
	S	14,0	0,2	4,2	6,6	0,07	0,3	1,2	1,2	0,9	1,7
	m _x	9,2	0,16	2,7	4,3	0,05	0,2	0,8	0,8	0,6	1,1
	X	32,8±9,2	7,0±0,16	19,2±2,7	9,8±4,3	0,03±0,05	5,1±0,2	6,9±0,8	9,8±0,8	2,6±0,6	12,3±1,1
Сточная	x _{ср.}	25,2	6,7	19,2	87,7	9,9*	9,2	6,6	9,3	3,4	12,7
	S	9,8	0,2	3,8	91,4	5,5*	2,2	1,0	1,4	1,4	1,7
	m _x	6,5	0,13	2,5	60,3	3,6*	1,4	0,7	0,9	0,9	1,2
	X	25,2±6,5	6,7±0,13	19,2±2,5	87,7±60,3	9,9±3,6*	9,2±1,4	6,6±0,7	9,3±0,9	3,4±0,9	12,7±1,2
x _{ср.} – среднее значение из выборки; S – эмпирический стандарт; m _x – интервальная оценка; X = x _{ср.} ± m _x – математическое ожидание искомой величины. Представленные значения рассчитаны по данным табл. 3 и 4 при уровне значимости q = 0,05. * – значения «мутности» отстойной воды.											

Рис. 2. Зависимость ζ -потенциала от цветности исходной воды автомоек №1 и 2 в течение годаРис. 3. Зависимость ζ -потенциала от цветности сточной воды автомоек №1 и 2 в течение года

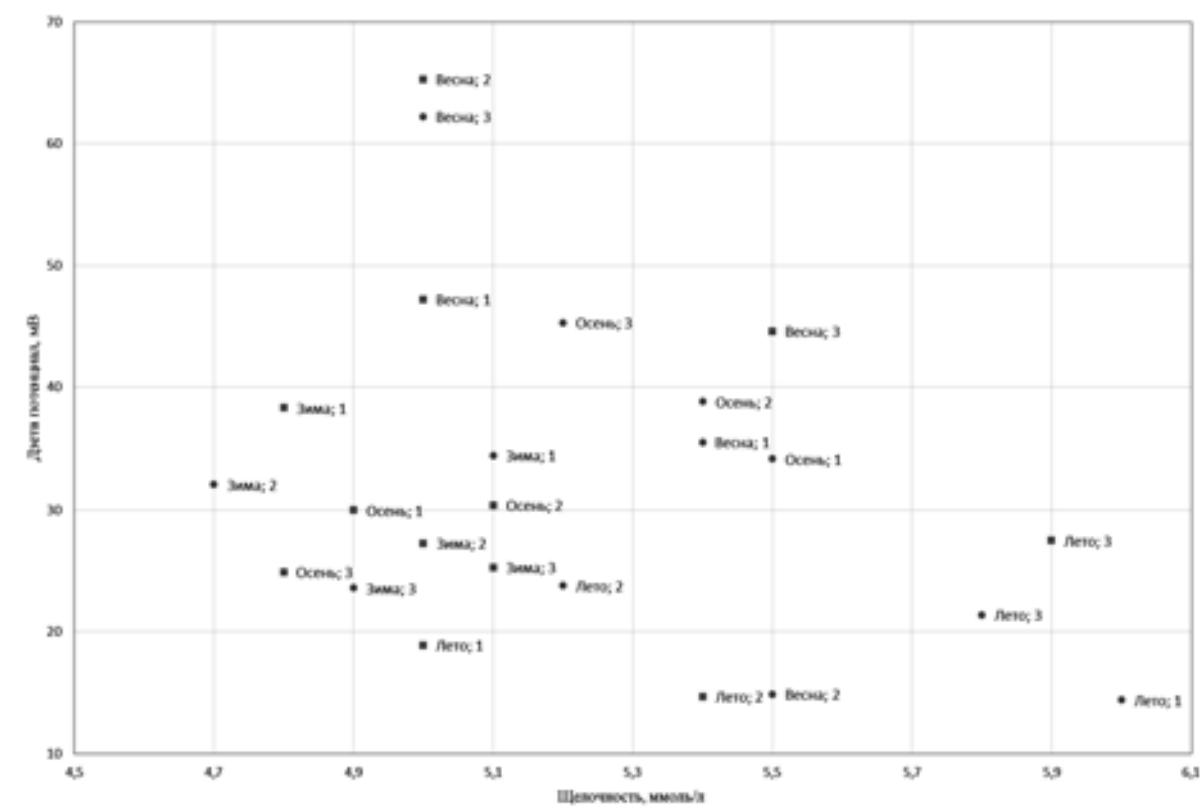


Рис. 4. Зависимость ζ -потенциала от щелочности исходной воды автомоек №1 и 2 в течение года

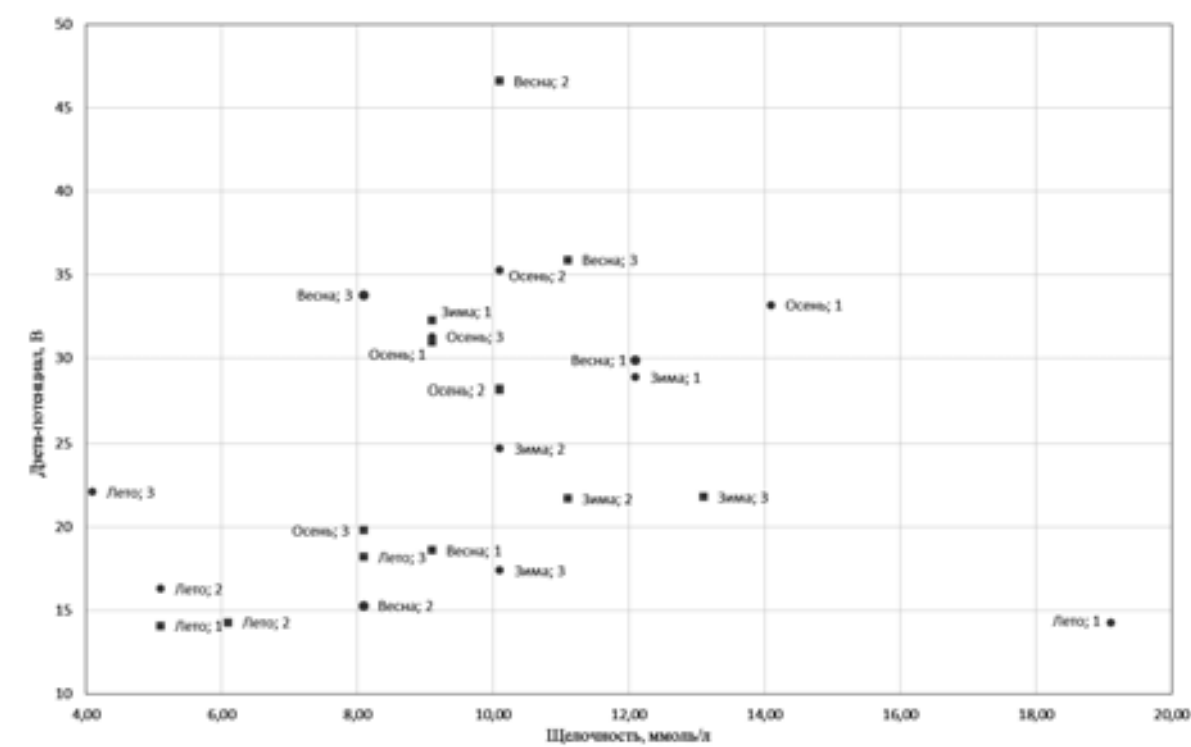


Рис. 5. Зависимость ζ -потенциала от щелочности сточной воды автомоек №1 и 2 в течение года

и на 78 % создавался солями Ca^{2+} , а общей жесткости сточной воды – $13,8 \pm 1,9$ мг-экв/дм³ и на 73,9 % был представлен солями кальция. Для мойки № 2 среднегодовой показатель общей жесткости исходной воды равнялся $12,3 \pm 1,1$ мг-экв/дм³ и на 79,7 % состоял из солей Ca^{2+} . Общая жесткость сточной воды равнялась $12,7 \pm 1,2$ мг-экв/дм³ и на 73,2 % была представлена солями кальция.

4. Доказано, что с увеличением цветности воды (и, вероятно, ее мутности) диапазон изменения значений ζ -потенциала сужался. В сточной воде по сравнению с исходной, диапазон изменения значений щелочности был значительно шире, но при меньшем интервале изменения ζ -потенциала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Молодов П.В., Дмитриев В.Д., Кичигин В.И. Исследование состава воды после мойки автотранспорта и кинетика выпадения загрязнений // Известия ВУЗов: Строительство и архитектура. 1984. № 6. С. 113–115.
2. Кичигин В.И. Основы моделирования и оптимизации территориальных систем водоотведения / СамГАСА. Самара, 2002. 339 с.
3. Кичигин В.И., Палагин Е.Д., Волков И.Н. Исследование возможности очистки сточных вод авторемонтных предприятий // Научное обозрение. 2014. № 5. С. 111–118.
4. Закс Л. Статистическое оценивание / пер. с нем. В.Н. Варыгина; под ред. Ю.П. Адлера и В.Г. Горского. М.: Статистика, 1976. 599 с.
5. Атанов Н.А., Волков И.Н., Кичигин В.И. Устройство для измерения величины дзета-потенциала // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 70-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР / СГАСУ. Самара, 2013. Ч. II. С. 221–224.

6. Волюцкий С.С. Курс коллоидной химии. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Химия, 1975. 512 с.

7. ПНД Ф 14.1:2.3:4.121-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений рН в водах потенциометрическим методом.

8. ПНД Ф 14.1:2.4.207-04. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений цветности питьевых, природных и сточных вод фотометрическим методом.

9. ПНД Ф 14.1:2.4.213-05. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений мутности питьевых, природных и сточных вод турбидиметрическим методом о каолину и по формазину.

10. ПНД Ф 14.1:2.3:4.245-2007. Количественный химический анализ вод. Методика измерений свободной и общей щелочности в питьевых, поверхностных, подземных пресных и сточных водах титриметрическим методом.

11. ПНД Ф 14.1:2.4.111-97. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации хлорид-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах меркуриметрическим методом.

12. ПНД Ф 14.1:2.98-97 (изд. 2004 г.). Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений жесткости в пробах природных и очищенных сточных вод титриметрическим методом.

13. ПНД Ф 14.1:2.95-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации кальция в пробах природных и очищенных сточных вод титриметрическим методом.

Об авторах:

КИЧИГИН Виктор Иванович

доктор технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: kichigin.viktr@rambler.ru

ЧЕРНЯГИНА Елизавета Дмитриевна

магистрант кафедры водоснабжения и водоотведения
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194

KICHIGIN Viktor I.

Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Water Supply and Wastewater Chair
Samara State Technical University
Academy of Civil Engineering and Architecture
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: kichigin.viktr@rambler.ru

CHERNYAGINA Elizaveta D.

Master's Degree Student of the Water Supply and Wastewater Chair
Samara State Technical University
Academy of Civil Engineering and Architecture
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194

Для цитирования: Кичигин В.И., Чернягина Е.Д. Дзета-потенциал как универсальный технологический показатель качества воды // Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7, № 4. С. 44–53. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.04.8.

For citation: Kichigin V. I., Chernyagina E. D. The Zeta-potential as a universal technological indicator of water quality // Urban construction and architecture. 2017. V. 7, 4. Pp. 44–53. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.04.8.