

УДК 556.332.52

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПЕРАТИВНОГО  
КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ  
ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВ  
LEVELLOGGER EDGE**

**Б.А. Опрышко<sup>1</sup>, В.А. Швецов<sup>2</sup>, О.А. Белавина<sup>2</sup>, Д.П. Ястребов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>КГУП «Камчатский водоканал», г. Петропавловск-Камчатский, Россия,

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «КамчатГТУ», г. Петропавловск-Камчатский, Россия,

BAOpryshko@pkvoda.ru,

oni@kamchatgtu.ru

*Аннотация.* В статье приведены результаты оперативного контроля точности измерений температуры подземных вод, полученных с помощью трёх устройств Levellogger Edge, имеющих разные сроки эксплуатации. Измерения температуры подземных вод выполнены авторами в эксплуатационной скважине № 24 Елизовского месторождения подземных питьевых вод на глубине 7,5 м. Анализ результатов исследований показал: а) все результаты измерений, полученные с помощью отдельных устройств № 1–3, отличаются высокой прецизионностью; б) между результатами измерений, полученных с помощью отдельных устройств № 1–3, выявлено статистически значимое систематическое расхождение. Сделано предположение о том, что поставщики устройств Levellogger Edge не осуществляют их первичную поверку.

*Ключевые слова:* температура подземных вод, устройство Levellogger Edge, характеристики погрешности измерений температуры воды, месторождение подземных питьевых вод.

**DEVELOPMENT OF METHODS FOR OPERATIONAL  
ACCURACY CONTROL UNDERGROUND WATER  
TEMPERATURE MEASUREMENTS USING DEVICES  
LEVELLOGGER EDGE**

**B.A. Opryshko<sup>1</sup>, V.A. Shvetsov<sup>2</sup>, O.A. Belavina<sup>2</sup>, D.P. Yastrebov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Regional state unitary enterprise «Kamchatka Vodokanal», Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia,

<sup>2</sup>Kamchatka state technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia,

BAOpryshko@pkvoda.ru,

oni@kamchatgtu.ru

*Annotation.* The article presents the results of operational control of the accuracy of underground water temperature measurements obtained using three Levellogger Edge devices that have different operating periods. Underground water temperature measurements were performed by the authors in the production well No. 24 of the Elizovsky field of underground drinking water at a depth of 7.5 m. The Analysis of research results showed: a) all measurement results obtained using separate devices No. 1-3 are highly precise; b) there is a statistically significant systematic discrepancy between the results of measurements obtained using separate devices No. 1–3. It is assumed that the suppliers of Levellogger Edge devices do not perform their initial verification.

*Key words:* groundwater temperature, Levellogger Edge device, water temperature measurement error characteristics, underground drinking water deposit.

## Введение

Изучение режима температуры подземных вод является важной государственной задачей [1, 2]. Результаты этих исследований используют для разработки рекомендаций по управлению ресурсами подземных вод и обоснованию мероприятий по охране подземных вод от истощения и загрязнения [2–4]. Согласно методическим указаниям [2], «для определения суточных изменений температуры замеры проводят 5 раз в сутки (в 7, 13, 19, 1 и 7 часов)». Поэтому контроль температурного режима подземных вод является трудоёмкой задачей, если он выполняется в ручном режиме. При этом предприятие КГУП «Камчатский водоканал» несёт большие расходы на транспорт, доставляющий специалистов на многочисленные водозаборы Камчатского края.

Поэтому работники КГУП «Камчатский водоканал» совместно с учёными КамчатГТУ внедряют в Камчатском крае автоматизированные системы контроля режима температуры подземных вод [3–8]. В качестве термометрической аппаратуры КГУП «Камчатский водоканал» выбрало автоматизированные устройства Levelogger Edge, отличающиеся приемлемыми технико-экономическими характеристиками [9].

Эксплуатация этих устройств в КГУП «Камчатский водоканал» в течение четырёх лет не вызвала у работников предприятия организационных и технических затруднений. Однако характеристики результатов наблюдений за режимом температуры подземных вод до настоящего времени гидрогеологи не оценивали.

Поэтому для принятия решения о целесообразности массового использования устройств Levelogger Edge на водозаборах Камчатского края необходимо оценить реальные характеристики точности измерений температуры.

Согласно [9], оперативный контроль нарушений точности результатов измерений в автоматизированных системах может осуществляться с помощью такого косвенного показателя, как расхождение значений, полученных дублирующими приборами.

Цель статьи — разработать и внедрить методику контроля точности измерений температуры подземных вод.

## Экспериментальная часть

Для достижения поставленной цели авторы выполнили следующий эксперимент. Осуществляли оперативный контроль точности измерений температуры подземных вод в полевых условиях. Для этого 22.01.2020 г. в эксплуатационную скважину № 24 Елизовского месторождения подземных питьевых вод в 11 ч 20 мин установили три устройства Levelogger Edge M10/F30,

погрузив их в воду на одинаковую глубину (примерно 7,5 м). Используемые устройства имеют разный срок эксплуатации, а именно: устройство № 1 введено в эксплуатацию в июле 2014 г.; устройство № 2 — в июне 2017 г.; устройство № 3 — в марте 2018 г. Измеряли температуру воды 28.01.2020 г. в период времени с 12 ч 22 мин 30 с до 12 ч 30 мин 00 с. Интервал времени между измерениями — 30 с. Результаты измерений температуры воды приведены на рисунке. Результаты статистической обработки измерений приведены в таблицах 1 и 2.



Рис. Результаты измерения температуры воды в скважине № 24 на глубине 7,5 м

Таблица 1

Результаты измерений температуры подземных вод  
и статистических расчётов

№ измерения	Результат измерения температуры воды, полученный с помощью используемого устройства ( $X_i$ ), °C, и результаты статистических расчётов								
	№ 1			№ 2			№ 3		
	$X_i$	$X_i - X_{ic}$	$(X_i - X_{ic})^2$	$X_i$	$X_i - X_{ic}$	$(X_i - X_{ic})^2$	$X_i$	$X_i - X_{ic}$	$(X_i - X_{ic})^2$
1	0,143	0,001	0,000001	-0,171	-0,001	0,000001	0,378	-0,001	0,000001
2	0,142	0,000	0,000000	-0,170	0,000	0,000000	0,379	0,000	0,000000
3	0,143	0,001	0,000001	-0,170	0,000	0,000000	0,379	0,000	0,000000
4	0,143	0,001	0,000001	-0,170	0,000	0,000000	0,379	0,000	0,000000
5	0,143	0,001	0,000001	-0,170	0,000	0,000000	0,379	0,000	0,000000

Продолжение таблицы 1

№ измерения	Результат измерения температуры воды, полученный с помощью используемого устройства ( $X_i$ ), °С, и результаты статистических расчётов								
	№ 1			№ 2			№ 3		
	$X_i$	$X_i - X_{ic}$	$(X_i - X_{ic})^2$	$X_i$	$X_i - X_{ic}$	$(X_i - X_{ic})^2$	$X_i$	$X_i - X_{ic}$	$(X_i - X_{ic})^2$
6	0,143	0,001	0,000001	-0,170	0,000	0,000000	0,379	0,000	0,000000
7	0,143	0,001	0,000001	-0,170	0,000	0,000000	0,379	0,000	0,000000
8	0,143	0,001	0,000001	-0,170	0,000	0,000000	0,379	0,000	0,000000
9	0,142	0,000	0,000000	-0,170	0,000	0,000000	0,379	0,000	0,000000
10	0,143	0,001	0,000001	-0,170	0,000	0,000000	0,379	0,000	0,000000
11	0,142	0,000	0,000000	-0,170	0,000	0,000000	0,379	0,000	0,000000
12	0,142	0,000	0,000000	-0,170	0,000	0,000000	0,379	0,000	0,000000
13	0,142	0,000	0,000000	-0,171	-0,001	0,000001	0,379	0,000	0,000000
14	0,142	0,000	0,000000	-0,171	-0,001	0,000001	0,379	0,000	0,000000
15	0,141	-0,001	0,000001	-0,171	-0,001	0,000001	0,379	0,000	0,000000
16	0,142	0,000	0,000000	-0,171	-0,001	0,000001	0,379	0,000	0,000000
Σ	2,279	0,007	0,000009	-2,725	-0,005	0,000005	6,063	-0,001	0,000001
Среднее значение ( $X_{ic}$ ), °С	0,142	0,0004	0,0000006	-0,170	-0,0003	0,0000003	0,379	0,00006	0,0000006
Дисперсия, $S^2$	0,000000600			0,000000333			0,000000067		
Стандартное отклонение, $S$	0,00077			0,00058			0,00026		
Коэффициент вариации, $V$ , %	0,5			0,3			0,1		

Таблица 2

Сравнение дисперсий по критерию Кохрена

Дисперсия 1, $S_{\max}^2$	0,000000600
Дисперсия 2, $S^2$	0,000000333
Дисперсия 3, $S^2$	0,000000067
Суммарная дисперсия, $S_{\Sigma}^2$	0,00000100
$G_{\max} = S_{\max}^2 / S_{\Sigma}^2$	0,6000
Табличное значение $G_{\max}$ для уровня значимости $a = 0,05$ ; $G_{\max}(0,05; m = 3; f = 15)$	0,5466
Табличное значение $G_{\max}$ для уровня значимости $a = 0,01$ ; $G_{\max}(0,01; m = 3; f = 15)$	0,6059
Вывод: $G_{\max} = 0,6000 > G_{\max}(0,05; m = 3; f = 15) = 0,5466$ ; $G_{\max} = 0,6000 < G_{\max}(0,01; m = 3; f = 15) = 0,6059$ ; дисперсии неоднородны	

Таблица 3

Сравнение по критерию Стьюдента средних результатов, полученных с помощью устройств № 1 и 3

Дисперсия 1, $S_1^2$	0,000000600
Дисперсия 3, $S_3^2$	0,000000067
Расчётное значение критерия Фишера: $F = 0,000000600 / 0,000000067 = 8,95 > F(0,05; 15; 15) = 2,40$ ; $F = 8,95 > F(0,01; 15; 15) = 3,52$ ; дисперсии неоднородны	
Расчётное значение t-критерия Стьюдента: $t_p = 1160,77$	
Табличное значение критерия Стьюдента: $t_r(0,05; 15) = 1,75$ и $t_r(0,01; 15) = 2,60$ . Соотношение $t_p > t_r(0,01; 15)$ показывает, что систематическое различие между средними значениями измерений температуры значимо	

Из результатов исследований, приведённых на рис. и в таблицах 1–3, следует:

- а) все результаты измерений, полученные с помощью отдельных устройств № 1–3, отличаются низкой случайной погрешностью [10, 11];
- б) между результатами измерений, полученных с помощью отдельных устройств № 1–3, существует статически значимое систематическое расхождение;
- в) при использовании устройства № 2 результаты измерений температуры воды в скважине № 24 утратили физический смысл (температура воды в скважине № 24 не может быть отрицательной).

Следует отметить, что полученные характеристики результатов измерений температуры подземных вод обусловлены отсутствием калибровок измерительных приборов Levelogger Edge в соответствии с действующими нормативно-техническими документами [12–14].

### **Выводы**

1. Необходима регулярная калибровка измерительных приборов метрологическими службами в соответствии с действующими нормативно-техническими документами.
2. На предприятиях водоканалов необходимо осуществлять оперативный контроль точности измерений температуры подземных вод.

### **Список литературы**

1. Мониторинг месторождений и участков водозаборов питьевых подземных вод: методические рекомендации / сост. Б.В. Боровский, Л.С. Язвин, В.М. Закутин; АОЗТ «ГИДЭК». М.: МПР РФ, 1998. 80 с.
2. Методические указания по производству наблюдений за режимом температуры подземных вод / сост. Н.М. Фролов, В.Н. Шкатулкин. М.: ВСЕГИНГЕО, 1982. 40 с.
3. Опрышко Б.А., Фиронов Ю.Н., Швецов В.А., Белавина О.А., Гузь М.П. К вопросу о снабжении населения села Мильково Камчатского края питьевой водой // Вестник КамчатГТУ. 2018. № 44. С. 14–20.
4. Опрышко Б.А., Швецов В.А., Белова Е.П. Совершенствование метода контроля уровня подземных вод в эксплуатационных скважинах Камчатского края // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 11. С. 20–25.
5. Опрышко Б.А., Швецов В.А., Лях А.П., Белавина О.А., Бессонов А.Ю. Разработка и внедрение оголовка для самоизливающейся наблюдательной скважины месторождений подземных вод // Вестник КамчатГТУ. 2017. № 40. С. 25–29.

6. Опрышко Б.А., Швецов В.А., Лях А.П., Белавина О.А. Новая конструкция оголовка наблюдательной самоизливающейся скважины // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 4. С. 58–62.
7. Опрышко Б.А., Швецов В.А., Белавина О.А. Новая конструкция оголовка для аварийной наблюдательной самоизливающейся скважины // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 10. С. 61–64.
8. Опрышко Б.А., Швецов В.А., Белавина О.А. Новая конструкция оголовка наблюдательной скважины // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2019. № 3 (135). С. 52–55.
9. Миф Н.П. Методы выполнения измерений. Методический материал в помощь метрологам. М.: ТОО «ТОТ», 1996. 35 с.
10. ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2013.
11. Смагунова А.Н., Шмелёва Е.И., Швецов В.А. Алгоритмы оперативного и статистического контроля качества работы аналитической лаборатории. Новосибирск: Наука, 2008. 60 с.
12. ГОСТ Р 8.563-2009. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Методики (методы) измерений. М.: Стандартинформ, 2019. 29 с.
13. Административный регламент осуществления Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии федерального государственного метрологического надзора. Утверждён Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии 20.09.2019. 42 с.
14. МИ 2304-08 ГСОЕИ. Метрологический надзор, осуществляемый метрологическими службами юридических лиц. Система аккредитации. Введён с 23.06.2008. М.: ВНИИМС. 12 с.

*Статья поступила в редакцию: 22.09.2020 г.*

*Статья прошла рецензирование: 20.10.2020 г.*

*Статья принята в работу: 02.12.2020 г.*