

ООО «Конструкторское бюро «Физэлектронприбор»

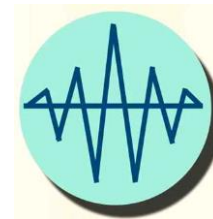
ИНН 6315522386 КПП 631501001

443010, Самара, ул. Галактионовская, 141, а/я 261.

Тел. +7 (846) 925-63-53, 359-17-01. E-mail: info@fizepr.ru

Расч. счет: 40702810954390101485 в Поволжском банке ПАО Сбербанк

г. Самара. Кор. счет 30101810200000000607 БИК 043601607



Директор
ООО «КБ «Физэлектронприбор»

 Сизиков О.К.

Отчет

по результатам сравнительных испытаний влагомеров
FIZEPR-SW100.17.12 и Hydro-Mix HM07

Цель испытаний	Измерение времени реакции и погрешности измерения температуры влагомерами: - FIZEPR-SW100.17.12 производства ООО «КБ «Физэлектронприбор» - Hydro-Mix HM07 производства фирмы «Hydronix»
Дата проведения испытаний	с 10 по 11 июля 2025г.
Место проведения испытаний	Испытательная лаборатория ООО «КБ «Физэлектронприбор»

1. Введение

Основное назначение влагомеров FIZEPR-SW100.17.12 и Hydro-Mix HM07 - измерение влажности бетонной смеси в бетоносмесителях. Эти влагомеры имеют одинаковые габаритно-присоединительные размеры и схожие по конструкции корпуса, что позволяет производить замену одного влагомера на другой без изменения монтажного отверстия в бетоносмесителях. По принципу измерения влагомеры также аналогичны – это микроволновые измерители диэлектрической проницаемости. В обоих испытываемых влагомерах FIZEPR-SW100.17.12 и Hydro-Mix HM07 сенсор закрыт керамическим диском из нитрида кремния. Фотографии влагомеров приведены на рис. 1.



Рис. 1

При внешней схожести конструкций схемотехнические и конструкторские решения, примененные в указанных влагомерах, различаются. Это обуславливает различия в технических характеристиках приборов. В частности, данные влагомеры существенно различаются по времени и по точности измерения температуры бетонной смеси.

Обратите внимание: в обоих приборах датчик температуры установлен под керамическим диском и фактически измеряет температуру керамики (!).

Целью данного эксперимента является определение скорости реакции встроенных термометров влагомеров на изменение температуры контролируемого материала, а также определение ошибки измерения температуры.

2. Описание метода измерения и средства измерений

Для оценки скорости реакции (времени отклика) при измерении температуры принято решение использовать погружение сенсорной поверхности датчиков в воду на глубину 15мм с контролем показаний влагомера (температуры) до и после погружения.

Для определения ошибки измерения температуры в установившемся режиме решено провести два измерения:

1. измерение в воде с температурой ниже окружающей среды;
2. измерение в воде с температурой выше окружающей среды.

Перед началом измерения датчики влагомеров размещаются вне кюветы с водой, что необходимо для контроля показаний температуры до момента опускания датчиков в воду (фотография на рис.2).



Рис. 2. Измерение температуры воздуха

Программное обеспечение обоих влагомеров позволяет производить регистрацию температуры с записью результатов в файл с заданным шагом во времени. Решено использовать запись с шагом в 10 секунд.

Влагомер FIZEPR-SW100.17.12 создает файл в формате .csv.

Влагомер Hydro-Mix создает файл в формате .txt.

Для обработки результатов используется таблица Excel, в которую переписываются данные из log-файлов для построения графиков и проведения сравнительного анализа.

В качестве опорного (эталонного) канала измерения температуры решено использовать 2 термометра:

1. ртутный лабораторный термометр ТЛ2, с ценой деления в 1 градус Цельсия, с определением температуры визуально;
2. калиброванный цифровой регистратор температуры. Чувствительный элемент регистратора – платиновое термосопротивление $pt100$ в медной гильзе с температурным коэффициентом сопротивления 1,385.

На рис.3 показана собранная установка для измерений. Оба датчика погружались в воду на одинаковую глубину – 15мм, что позволило минимизировать температурное воздействие воды на корпуса датчиков. Такое решение принято исходя из того, что в бетоносмесителе влагомер контактирует с бетонной смесью только сенсорной поверхностью, образованной керамическим диском и металлической крышкой, закрывающей диск по контуру.

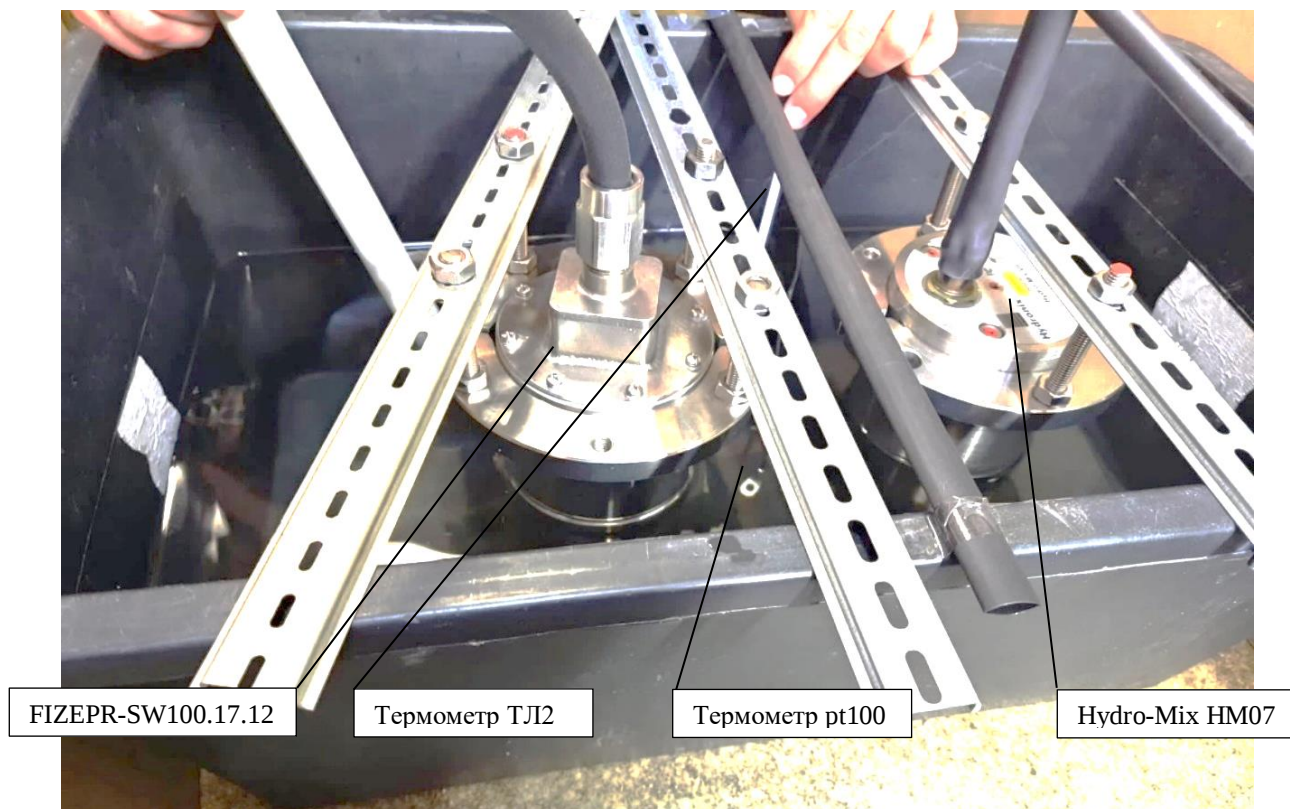


Рис.3. Датчики в кювете с водой, сенсорная поверхность датчиков погружена в воду на 15мм

Точки регистрации температур всех четырех термометров синхронизированы с разбегом не более 20-ти секунд. Система отсчета времени – часы персонального компьютера (экран компьютера показан на рис.4).

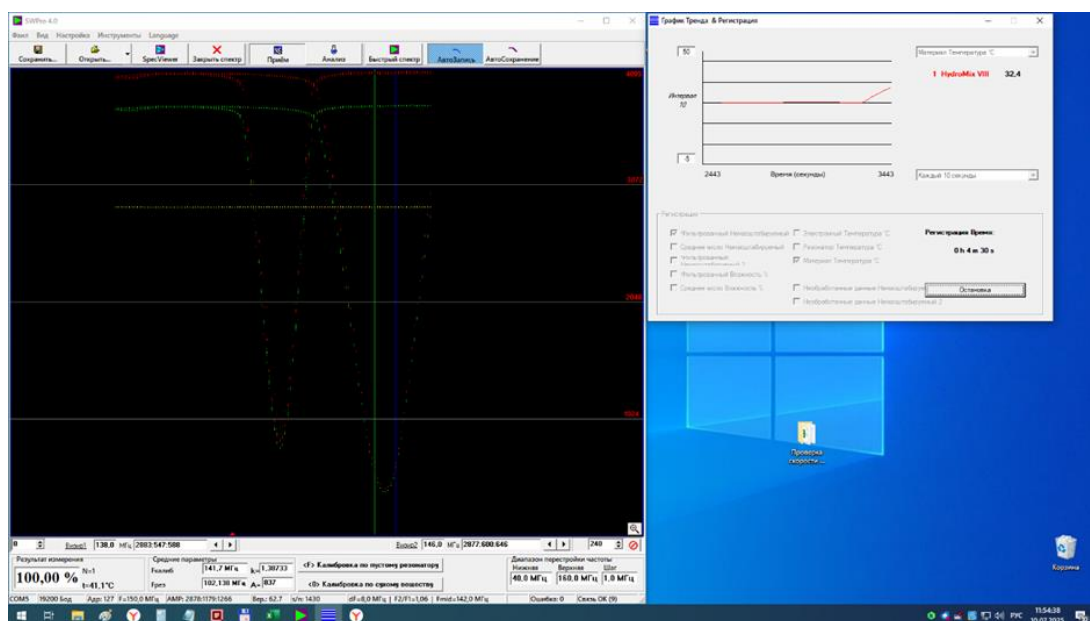


Рис.4. Экран компьютера в момент регистрации

3. Полученные результаты и их анализ

В приложении к данному отчету приведены сводные таблицы для двух случаев – охлаждения обоих датчиков и их нагрева.

На рисунках 5 и 6 приведены графики изменения температуры, построенные по данным из прилагаемых к данному отчету таблиц.

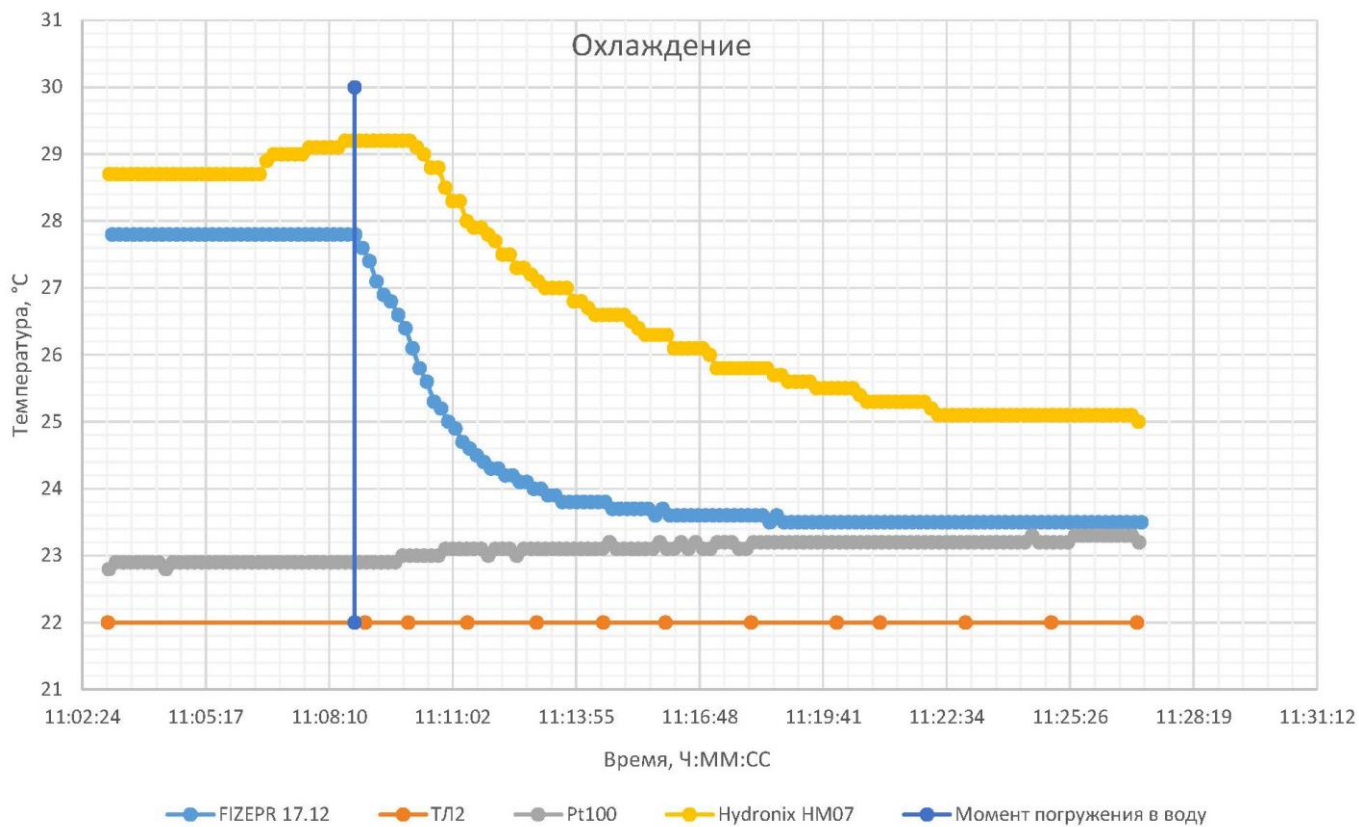


Рис. 5

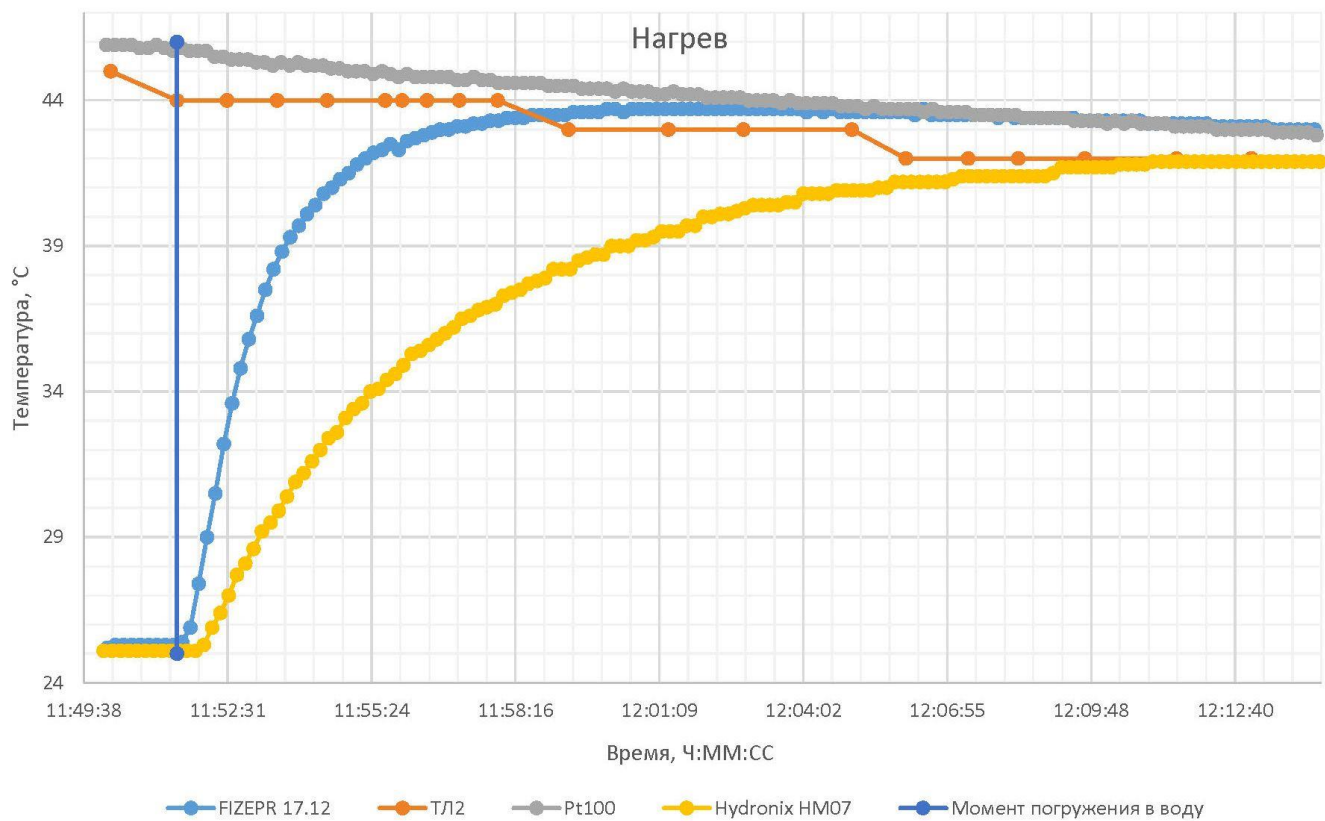


Рис. 6

Этап 1. Измерение комнатной температуры.

Включение приборов выполнялось за несколько минут до опускания в воду.

Начало записи данных производилось спустя ~30 секунд после подачи питания и обнаружения факта связи по интерфейсу RS-485.

Перед охлаждением показания снимались в течение 5-ти минут до погружения в воду.

На графике на рис.5 можно заметить, что показания влагомера FIZEPR-SW100.17.12 не меняются до момента погружения, также, как не меняются показания опорных (эталонных) термометров.

Однако показания влагомера Hydro-Mix HM07 плавно растут с 28,7°C до 29,1°C (т.е. увеличиваются на 0,4°C) в течение 5-ти минут до момента погружения в воду. Можно предположить, что на более длительном промежутке времени температура вырастет еще больше.

Такое изменение показаний можно объяснить тем, что во влагомере Hydro-Mix HM07 вся электроника, включая элементы питания и измерительные цепи, располагается внутри одного корпуса и при работе они нагреваются и медленно передают тепло в ту часть датчика, где размещен термодатчик контролируемого материала.

Влагомер FIZEPR-SW100.17.12 лишен такого недостатка, так как в корпусе его датчика расположены только измерительные электронные цепи, имеющие крайне ничтожное тепловыделение, не способное хоть как-то повлиять на температуру корпуса датчика.

Во влагомере FIZEPR-SW100.17.12 электроника расположена в отдельном корпусе – корпусе электронного блока.

Т.к. оценка самопрогрева датчиков не является целью данного эксперимента, мы ограничились промежутком времени 5 минут.

Этап 2. Оценка скорости реакции и погрешности измерений

Из экспериментальных графиков (рис. 5 и 6) хорошо видно, насколько медленнее реагирует на скачок температуры влагомер Hydro-Mix HM07 по сравнению с влагомером FIZEPR-SW100.17.12.

Для получения численной оценки скорости реакции за основу принимались показания термометра pt100, т.к. он имеет минимальную инерционность среди четырех участвующих в эксперименте термометров. Метод расчета изложен в Приложении 2.

При охлаждении до 23,2 °C

Влагомер	Ошибка измерения температуры	Время установления
FIZEPR-SW100.17.12	0,3 °C	610 сек
Hydro-Mix HM07	1,8 °C	1050 сек

При нагреве до 42,7 °C

Влагомер	Ошибка измерения температуры	Время установления
FIZEPR-SW100.17.12	0,2 °C	190 сек
Hydro-Mix HM07	0,8 °C	670 сек

Как видно из приведенных выше таблиц, ошибка измерения температуры у влагомера FIZEPR-SW100.17.12 для случая охлаждения и для случая нагрева практически одинаковая: 0,3°C и 0,2°C.

Ошибка измерения температуры у влагомера Hydro-Mix НМ07 составляет 1,8°С при охлаждении, а при нагреве составляет 0,8 °С. Имеющаяся несимметричность объясняется, видимо, влиянием внутреннего разогрева электронной начинки влагомера.

Выводы:

ошибка измерения температуры у влагомера Hydro-Mix НМ07 как минимум в 4 раза больше, чем у влагомера FIZEPR-SW100.17.12, а время реакции у Hydro-Mix НМ07 – почти в 2 раза медленнее. Кроме того, дополнительную погрешность вносит разогрев датчика Hydro-Mix НМ07 от его электронной схемы.

Испытания проведены:

вед. инженер Сарсенов И.И. _____

ст. инженер Калинин Р.В. _____

Приложение 1.

Таблица 1П - Охлаждение в воде

№	FIZEPR-SW 100-17.12			Hydromix HM07			Ртутный термометр ТЛ-2			Датчик температуры Pt-100 в гильзе	
		°C			°C			°C			
1	11:03:06	27,8		11:03:02	28,7		11:03:00	22		11:03:01	22,8
2	11:03:16	27,8		11:03:12	28,7		11:09:00	22		11:03:11	22,9
3	11:03:26	27,8		11:03:22	28,7		11:10:00	22		11:03:21	22,9
4	11:03:36	27,8		11:03:32	28,7		11:11:23	22		11:03:31	22,9
5	11:03:46	27,8		11:03:42	28,7		11:13:00	22		11:03:41	22,9
6	11:03:56	27,8		11:03:52	28,7		11:14:33	22		11:03:51	22,9
7	11:04:06	27,8		11:04:02	28,7		11:16:00	22		11:04:01	22,9
8	11:04:16	27,8		11:04:12	28,7		11:18:00	22		11:04:11	22,9
9	11:04:26	27,8		11:04:22	28,7		11:20:00	22		11:04:21	22,8
10	11:04:36	27,8		11:04:32	28,7		11:21:00	22		11:04:31	22,9
11	11:04:46	27,8		11:04:42	28,7		11:23:00	22		11:04:41	22,9
12	11:04:56	27,8		11:04:52	28,7		11:25:00	22		11:04:51	22,9
13	11:05:06	27,8		11:05:02	28,7		11:27:00	22		11:05:01	22,9
14	11:05:16	27,8		11:05:12	28,7					11:05:11	22,9
15	11:05:26	27,8		11:05:22	28,7					11:05:21	22,9
16	11:05:36	27,8		11:05:32	28,7					11:05:31	22,9
17	11:05:46	27,8		11:05:42	28,7					11:05:41	22,9
18	11:05:56	27,8		11:05:52	28,7					11:05:51	22,9
19	11:06:06	27,8		11:06:02	28,7					11:06:01	22,9
20	11:06:16	27,8		11:06:12	28,7					11:06:11	22,9
21	11:06:26	27,8		11:06:22	28,7					11:06:21	22,9
22	11:06:36	27,8		11:06:32	28,7					11:06:31	22,9
23	11:06:46	27,8		11:06:42	28,9					11:06:41	22,9
24	11:06:56	27,8		11:06:52	29					11:06:51	22,9
25	11:07:06	27,8		11:07:02	29					11:07:01	22,9
26	11:07:16	27,8		11:07:12	29					11:07:11	22,9
27	11:07:26	27,8		11:07:22	29					11:07:21	22,9
28	11:07:36	27,8		11:07:32	29					11:07:31	22,9
29	11:07:46	27,8		11:07:42	29,1					11:07:41	22,9
30	11:07:56	27,8		11:07:52	29,1					11:07:51	22,9
31	11:08:06	27,8		11:08:02	29,1					11:08:01	22,9
32	11:08:16	27,8		11:08:12	29,1					11:08:12	22,9
33	11:08:26	27,8		11:08:22	29,1					11:08:22	22,9
34	11:08:36	27,8		11:08:32	29,2					11:08:32	22,9
35	11:08:46	27,8		11:08:42	29,2					11:08:42	22,9
36	11:08:56	27,6		11:08:52	29,2					11:08:52	22,9
37	11:09:06	27,4		11:09:02	29,2					11:09:02	22,9
38	11:09:16	27,1		11:09:12	29,2					11:09:12	22,9
39	11:09:26	26,9		11:09:22	29,2					11:09:22	22,9
40	11:09:36	26,8		11:09:32	29,2					11:09:32	22,9

Таблица 1П - Охлаждение в воде

№	FIZEPR-SW 100-17.12		Hydromix HM07		Ртутный термометр ТЛ-2		Датчик температуры Pt-100 в гильзе	
	°C		°C		°C		°C	
41	11:09:46	26,6	11:09:42	29,2			11:09:42	22,9
42	11:09:56	26,4	11:09:52	29,2			11:09:52	23
43	11:10:06	26,1	11:10:02	29,2			11:10:02	23
44	11:10:16	25,8	11:10:12	29,1			11:10:12	23
45	11:10:26	25,6	11:10:22	29			11:10:22	23
46	11:10:36	25,3	11:10:32	28,8			11:10:32	23
47	11:10:46	25,2	11:10:42	28,8			11:10:42	23
48	11:10:56	25	11:10:52	28,5			11:10:52	23,1
49	11:11:06	24,9	11:11:02	28,3			11:11:02	23,1
50	11:11:16	24,7	11:11:12	28,3			11:11:12	23,1
51	11:11:26	24,6	11:11:22	28			11:11:22	23,1
52	11:11:36	24,5	11:11:32	27,9			11:11:32	23,1
53	11:11:46	24,4	11:11:42	27,9			11:11:42	23,1
54	11:11:56	24,3	11:11:52	27,8			11:11:52	23
55	11:12:06	24,3	11:12:02	27,7			11:12:02	23,1
56	11:12:16	24,2	11:12:12	27,5			11:12:12	23,1
57	11:12:26	24,2	11:12:22	27,5			11:12:22	23,1
58	11:12:36	24,1	11:12:32	27,3			11:12:32	23
59	11:12:46	24,1	11:12:42	27,3			11:12:42	23,1
60	11:12:56	24	11:12:52	27,2			11:12:52	23,1
61	11:13:06	24	11:13:02	27,1			11:13:02	23,1
62	11:13:16	23,9	11:13:12	27			11:13:12	23,1
63	11:13:26	23,9	11:13:22	27			11:13:22	23,1
64	11:13:36	23,8	11:13:32	27			11:13:32	23,1
65	11:13:46	23,8	11:13:42	27			11:13:42	23,1
66	11:13:56	23,8	11:13:52	26,8			11:13:52	23,1
67	11:14:06	23,8	11:14:02	26,8			11:14:02	23,1
68	11:14:16	23,8	11:14:12	26,7			11:14:12	23,1
69	11:14:26	23,8	11:14:22	26,6			11:14:22	23,1
70	11:14:36	23,8	11:14:32	26,6			11:14:32	23,1
71	11:14:46	23,7	11:14:42	26,6			11:14:42	23,2
72	11:14:56	23,7	11:14:52	26,6			11:14:52	23,1
73	11:15:06	23,7	11:15:02	26,6			11:15:02	23,1
74	11:15:16	23,7	11:15:12	26,5			11:15:12	23,1
75	11:15:26	23,7	11:15:22	26,4			11:15:22	23,1
76	11:15:36	23,7	11:15:32	26,3			11:15:32	23,1
77	11:15:46	23,6	11:15:42	26,3			11:15:42	23,1
78	11:15:56	23,7	11:15:52	26,3			11:15:52	23,2
79	11:16:06	23,6	11:16:02	26,3			11:16:02	23,1
80	11:16:16	23,6	11:16:12	26,1			11:16:12	23,1
81	11:16:26	23,6	11:16:22	26,1			11:16:22	23,2
82	11:16:36	23,6	11:16:32	26,1			11:16:32	23,1

Таблица 1П - Охлаждение в воде

№	FIZEPR-SW 100-17.12		Hydromix HM07		Ртутный термометр ТЛ-2		Датчик температуры Pt-100 в гильзе	
	°C		°C		°C		°C	
83	11:16:46	23,6	11:16:42	26,1			11:16:42	23,2
84	11:16:56	23,6	11:16:52	26,1			11:16:53	23,1
85	11:17:06	23,6	11:17:02	26			11:17:03	23,1
86	11:17:16	23,6	11:17:12	25,8			11:17:13	23,2
87	11:17:26	23,6	11:17:22	25,8			11:17:23	23,2
88	11:17:36	23,6	11:17:32	25,8			11:17:33	23,2
89	11:17:46	23,6	11:17:42	25,8			11:17:43	23,1
90	11:17:56	23,6	11:17:52	25,8			11:17:53	23,1
91	11:18:06	23,6	11:18:02	25,8			11:18:03	23,2
92	11:18:16	23,6	11:18:12	25,8			11:18:13	23,2
93	11:18:26	23,5	11:18:22	25,8			11:18:23	23,2
94	11:18:36	23,6	11:18:32	25,7			11:18:33	23,2
95	11:18:46	23,5	11:18:42	25,7			11:18:43	23,2
96	11:18:56	23,5	11:18:52	25,6			11:18:53	23,2
97	11:19:06	23,5	11:19:02	25,6			11:19:03	23,2
98	11:19:16	23,5	11:19:12	25,6			11:19:13	23,2
99	11:19:26	23,5	11:19:22	25,6			11:19:23	23,2
100	11:19:36	23,5	11:19:32	25,5			11:19:33	23,2
101	11:19:46	23,5	11:19:42	25,5			11:19:43	23,2
102	11:19:56	23,5	11:19:52	25,5			11:19:53	23,2
103	11:20:06	23,5	11:20:02	25,5			11:20:03	23,2
104	11:20:16	23,5	11:20:12	25,5			11:20:13	23,2
105	11:20:26	23,5	11:20:22	25,5			11:20:23	23,2
106	11:20:36	23,5	11:20:32	25,4			11:20:33	23,2
107	11:20:46	23,5	11:20:42	25,3			11:20:43	23,2
108	11:20:56	23,5	11:20:52	25,3			11:20:53	23,2
109	11:21:06	23,5	11:21:02	25,3			11:21:03	23,2
110	11:21:16	23,5	11:21:12	25,3			11:21:13	23,2
111	11:21:26	23,5	11:21:22	25,3			11:21:23	23,2
112	11:21:36	23,5	11:21:32	25,3			11:21:33	23,2
113	11:21:46	23,5	11:21:42	25,3			11:21:43	23,2
114	11:21:56	23,5	11:21:52	25,3			11:21:53	23,2
115	11:22:06	23,5	11:22:02	25,3			11:22:03	23,2
116	11:22:16	23,5	11:22:12	25,2			11:22:13	23,2
117	11:22:26	23,5	11:22:22	25,1			11:22:23	23,2
118	11:22:36	23,5	11:22:32	25,1			11:22:33	23,2
119	11:22:46	23,5	11:22:42	25,1			11:22:43	23,2
120	11:22:56	23,5	11:22:52	25,1			11:22:53	23,2
121	11:23:06	23,5	11:23:02	25,1			11:23:03	23,2
122	11:23:16	23,5	11:23:12	25,1			11:23:13	23,2
123	11:23:26	23,5	11:23:22	25,1			11:23:23	23,2
124	11:23:36	23,5	11:23:32	25,1			11:23:33	23,2

Таблица 1П - Охлаждение в воде

№	FIZEPR-SW 100-17.12		Hydromix HM07		Ртутный термометр ТЛ-2		Датчик температуры Pt-100 в гильзе	
	°C		°C		°C		°C	
125	11:23:46	23,5	11:23:42	25,1			11:23:43	23,2
126	11:23:56	23,5	11:23:52	25,1			11:23:53	23,2
127	11:24:06	23,5	11:24:02	25,1			11:24:03	23,2
128	11:24:16	23,5	11:24:12	25,1			11:24:13	23,2
129	11:24:26	23,5	11:24:22	25,1			11:24:23	23,2
130	11:24:36	23,5	11:24:32	25,1			11:24:33	23,3
131	11:24:46	23,5	11:24:42	25,1			11:24:43	23,2
132	11:24:56	23,5	11:24:52	25,1			11:24:53	23,2
133	11:25:06	23,5	11:25:02	25,1			11:25:03	23,2
134	11:25:16	23,5	11:25:12	25,1			11:25:13	23,2
135	11:25:26	23,5	11:25:22	25,1			11:25:23	23,2
136	11:25:36	23,5	11:25:32	25,1			11:25:33	23,3
137	11:25:46	23,5	11:25:42	25,1			11:25:43	23,3
138	11:25:56	23,5	11:25:52	25,1			11:25:53	23,3
139	11:26:06	23,5	11:26:02	25,1			11:26:03	23,3
140	11:26:16	23,5	11:26:12	25,1			11:26:13	23,3
141	11:26:26	23,5	11:26:22	25,1			11:26:23	23,3
142	11:26:36	23,5	11:26:32	25,1			11:26:33	23,3
143	11:26:46	23,5	11:26:42	25,1			11:26:43	23,3
144	11:26:56	23,5	11:26:52	25,1			11:26:53	23,3
145	11:27:06	23,5	11:27:02	25			11:27:03	23,2

Таблица 2П - Нагрев в воде

№	FIZEPR-SW 100-17.12		Hydromix HM07		Ртутный термометр ТЛ-2		Датчик температуры Pt- 100 в гильзе	
	°C		°C		°C		°C	
1	11:50:06	25,2	11:50:02	25,1	11:50:10	45	11:50:05	45,9
2	11:50:16	25,3	11:50:12	25,1	11:51:30	44	11:50:15	45,9
3	11:50:26	25,3	11:50:22	25,1	11:52:30	44	11:50:25	45,9
4	11:50:36	25,3	11:50:32	25,1	11:53:30	44	11:50:35	45,9
5	11:50:46	25,3	11:50:42	25,1	11:54:30	44	11:50:45	45,8
6	11:50:56	25,3	11:50:52	25,1	11:55:40	44	11:50:55	45,8
7	11:51:06	25,3	11:51:02	25,1	11:56:00	44	11:51:05	45,9
8	11:51:16	25,3	11:51:12	25,1	11:56:30	44	11:51:15	45,8
9	11:51:26	25,3	11:51:22	25,1	11:57:09	44	11:51:25	45,7
10	11:51:36	25,4	11:51:32	25,1	11:57:55	44	11:51:35	45,8
11	11:51:46	25,9	11:51:42	25,1	11:59:20	43	11:51:45	45,7

Таблица 2П - Нагрев в воде

№	FIZEPR-SW 100-17.12		Hydromix HM07		Ртутный термометр ТЛ-2		Датчик температуры Pt- 100 в гильзе	
	°C		°C		°C		°C	
12	11:51:56	27,4	11:51:52	25,1	12:01:20	43	11:51:55	45,7
13	11:52:06	29	11:52:02	25,3	12:02:50	43	11:52:05	45,7
14	11:52:16	30,5	11:52:12	25,9	12:05:00	43	11:52:15	45,5
15	11:52:26	32,2	11:52:22	26,4	12:06:05	42	11:52:25	45,5
16	11:52:36	33,6	11:52:32	27	12:07:20	42	11:52:35	45,4
17	11:52:46	34,8	11:52:42	27,7	12:08:20	42	11:52:45	45,4
18	11:52:56	35,8	11:52:52	28,1	12:09:40	42	11:52:55	45,4
19	11:53:06	36,6	11:53:02	28,6	12:11:30	42	11:53:05	45,3
20	11:53:16	37,5	11:53:12	29,2	12:13:00	42	11:53:15	45,3
21	11:53:26	38,2	11:53:22	29,5	12:15:00	42	11:53:25	45,2
22	11:53:36	38,8	11:53:32	29,9			11:53:35	45,3
23	11:53:46	39,3	11:53:42	30,4			11:53:45	45,2
24	11:53:56	39,7	11:53:52	30,9			11:53:55	45,3
25	11:54:06	40,1	11:54:02	31,2			11:54:05	45,2
26	11:54:16	40,4	11:54:12	31,6			11:54:15	45,2
27	11:54:26	40,8	11:54:22	32			11:54:25	45,2
28	11:54:36	41	11:54:32	32,4			11:54:35	45,1
29	11:54:46	41,3	11:54:42	32,6			11:54:45	45,1
30	11:54:56	41,5	11:54:52	33,1			11:54:55	45
31	11:55:06	41,8	11:55:02	33,4			11:55:05	45
32	11:55:16	42	11:55:12	33,6			11:55:15	45
33	11:55:26	42,2	11:55:22	34			11:55:25	44,9
34	11:55:36	42,3	11:55:32	34,1			11:55:36	45
35	11:55:46	42,5	11:55:42	34,4			11:55:46	44,9
36	11:55:56	42,3	11:55:52	34,6			11:55:56	44,8
37	11:56:06	42,6	11:56:02	34,9			11:56:06	44,9
38	11:56:16	42,7	11:56:12	35,3			11:56:16	44,8
39	11:56:26	42,8	11:56:22	35,4			11:56:26	44,8
40	11:56:36	42,9	11:56:32	35,6			11:56:36	44,8
41	11:56:46	43	11:56:42	35,8			11:56:46	44,8
42	11:56:56	43	11:56:52	36			11:56:56	44,8
43	11:57:06	43,1	11:57:02	36,2			11:57:06	44,7
44	11:57:16	43,1	11:57:12	36,5			11:57:16	44,7
45	11:57:26	43,2	11:57:22	36,6			11:57:26	44,8
46	11:57:36	43,2	11:57:32	36,8			11:57:36	44,7
47	11:57:46	43,3	11:57:42	36,9			11:57:46	44,7
48	11:57:56	43,3	11:57:52	37			11:57:56	44,6
49	11:58:06	43,4	11:58:02	37,3			11:58:06	44,6
50	11:58:16	43,4	11:58:12	37,4			11:58:16	44,6
51	11:58:26	43,4	11:58:22	37,5			11:58:26	44,6
52	11:58:36	43,5	11:58:32	37,7			11:58:36	44,6
53	11:58:46	43,5	11:58:42	37,8			11:58:46	44,6

Таблица 2П - Нагрев в воде

№	FIZEPR-SW 100-17.12		Hydromix HM07		Ртутный термометр ТЛ-2		Датчик температуры Pt- 100 в гильзе	
	°C		°C		°C		°C	
54	11:58:56	43,5	11:58:52	37,9			11:58:56	44,5
55	11:59:06	43,5	11:59:02	38,2			11:59:06	44,5
56	11:59:16	43,5	11:59:12	38,2			11:59:16	44,5
57	11:59:26	43,6	11:59:22	38,2			11:59:26	44,5
58	11:59:36	43,6	11:59:32	38,5			11:59:36	44,4
59	11:59:46	43,6	11:59:42	38,6			11:59:46	44,4
60	11:59:56	43,6	11:59:52	38,7			11:59:56	44,4
61	12:00:06	43,7	12:00:02	38,7			12:00:06	44,4
62	12:00:16	43,7	12:00:12	39			12:00:16	44,3
63	12:00:26	43,6	12:00:22	39			12:00:26	44,4
64	12:00:36	43,7	12:00:32	39			12:00:36	44,3
65	12:00:46	43,7	12:00:42	39,2			12:00:46	44,3
66	12:00:56	43,7	12:00:52	39,2			12:00:56	44,3
67	12:01:06	43,7	12:01:02	39,3			12:01:06	44,2
68	12:01:16	43,7	12:01:12	39,5			12:01:16	44,2
69	12:01:26	43,7	12:01:22	39,5			12:01:26	44,3
70	12:01:36	43,7	12:01:32	39,5			12:01:36	44,2
71	12:01:46	43,7	12:01:42	39,7			12:01:46	44,2
72	12:01:56	43,7	12:01:52	39,7			12:01:56	44,2
73	12:02:06	43,7	12:02:02	40			12:02:06	44,1
74	12:02:16	43,7	12:02:12	40			12:02:16	44,1
75	12:02:26	43,7	12:02:22	40,1			12:02:26	44,1
76	12:02:36	43,7	12:02:32	40,1			12:02:36	44,1
77	12:02:46	43,7	12:02:42	40,2			12:02:46	44,1
78	12:02:56	43,7	12:02:52	40,3			12:02:56	44
79	12:03:06	43,7	12:03:02	40,4			12:03:06	44
80	12:03:16	43,7	12:03:12	40,4			12:03:16	44
81	12:03:26	43,7	12:03:22	40,4			12:03:26	44
82	12:03:36	43,7	12:03:32	40,4			12:03:36	43,9
83	12:03:46	43,7	12:03:42	40,5			12:03:46	44
84	12:03:56	43,7	12:03:52	40,5			12:03:56	43,9
85	12:04:06	43,6	12:04:02	40,8			12:04:06	43,9
86	12:04:16	43,7	12:04:12	40,8			12:04:17	43,9
87	12:04:26	43,6	12:04:22	40,8			12:04:27	43,9
88	12:04:36	43,7	12:04:32	40,8			12:04:37	43,9
89	12:04:46	43,6	12:04:42	40,9			12:04:47	43,8
90	12:04:56	43,6	12:04:52	40,9			12:04:57	43,8
91	12:05:06	43,6	12:05:02	40,9			12:05:07	43,8
92	12:05:16	43,6	12:05:12	40,9			12:05:17	43,7
93	12:05:26	43,6	12:05:22	40,9			12:05:27	43,8
94	12:05:36	43,6	12:05:32	41			12:05:37	43,7
95	12:05:46	43,6	12:05:42	41			12:05:47	43,7

Таблица 2П - Нагрев в воде

№	FIZEPR-SW 100-17.12		Hydromix HM07		Ртутный термометр ТЛ-2		Датчик температуры Pt- 100 в гильзе	
	°C		°C		°C		°C	
96	12:05:56	43,6	12:05:52	41,2			12:05:57	43,7
97	12:06:06	43,6	12:06:02	41,2			12:06:07	43,7
98	12:06:16	43,5	12:06:12	41,2			12:06:17	43,7
99	12:06:26	43,7	12:06:22	41,2			12:06:27	43,6
100	12:06:36	43,5	12:06:32	41,2			12:06:37	43,7
101	12:06:46	43,5	12:06:42	41,2			12:06:47	43,6
102	12:06:56	43,5	12:06:52	41,2			12:06:57	43,6
103	12:07:06	43,5	12:07:02	41,3			12:07:07	43,6
104	12:07:16	43,5	12:07:12	41,4			12:07:17	43,6
105	12:07:26	43,5	12:07:22	41,4			12:07:27	43,5
106	12:07:36	43,5	12:07:32	41,4			12:07:37	43,5
107	12:07:46	43,5	12:07:42	41,4			12:07:47	43,5
108	12:07:56	43,4	12:07:52	41,4			12:07:57	43,5
109	12:08:06	43,5	12:08:02	41,4			12:08:07	43,5
110	12:08:16	43,4	12:08:12	41,4			12:08:17	43,5
111	12:08:26	43,4	12:08:22	41,4			12:08:27	43,4
112	12:08:36	43,4	12:08:32	41,4			12:08:37	43,4
113	12:08:46	43,4	12:08:42	41,4			12:08:47	43,4
114	12:08:56	43,4	12:08:52	41,4			12:08:57	43,4
115	12:09:06	43,4	12:09:02	41,5			12:09:07	43,4
116	12:09:16	43,4	12:09:12	41,7			12:09:17	43,4
117	12:09:26	43,4	12:09:22	41,7			12:09:27	43,3
118	12:09:36	43,3	12:09:32	41,7			12:09:37	43,3
119	12:09:46	43,3	12:09:42	41,7			12:09:47	43,3
120	12:09:56	43,3	12:09:52	41,7			12:09:57	43,3
121	12:10:06	43,3	12:10:02	41,7			12:10:07	43,2
122	12:10:16	43,3	12:10:12	41,7			12:10:17	43,3
123	12:10:26	43,3	12:10:22	41,8			12:10:27	43,2
124	12:10:36	43,3	12:10:32	41,8			12:10:37	43,3
125	12:10:46	43,3	12:10:42	41,8			12:10:47	43,2
126	12:10:56	43,2	12:10:52	41,8			12:10:57	43,2
127	12:11:06	43,2	12:11:02	41,9			12:11:07	43,2
128	12:11:16	43,2	12:11:12	41,9			12:11:17	43,2
129	12:11:26	43,2	12:11:22	41,9			12:11:28	43,1
130	12:11:36	43,2	12:11:32	41,9			12:11:38	43,1
131	12:11:46	43,2	12:11:42	41,9			12:11:48	43,1
132	12:11:56	43,2	12:11:52	41,9			12:11:58	43,1
133	12:12:06	43,2	12:12:02	41,9			12:12:08	43,1
134	12:12:16	43,1	12:12:12	41,9			12:12:18	43
135	12:12:26	43,1	12:12:22	41,9			12:12:28	43
136	12:12:36	43,1	12:12:32	41,9			12:12:38	43
137	12:12:46	43,1	12:12:42	41,9			12:12:48	43

Таблица 2П - Нагрев в воде

№	FIZEPR-SW 100-17.12		Hydromix HM07		Ртутный термометр ТЛ-2		Датчик температуры Pt- 100 в гильзе	
	°C		°C		°C		°C	
138	12:12:56	43,1	12:12:52	41,9			12:12:58	43
139	12:13:06	43,1	12:13:02	41,9			12:13:08	43
140	12:13:16	43,1	12:13:12	41,9			12:13:18	43
141	12:13:26	43	12:13:22	41,9			12:13:28	42,9
142	12:13:36	43	12:13:32	41,9			12:13:38	42,9
143	12:13:46	43	12:13:42	41,9			12:13:48	42,9
144	12:13:56	43	12:13:52	41,9			12:13:58	42,9
145	12:14:06	43	12:14:02	41,9			12:14:08	42,9
146	12:14:16	43	12:14:12	41,9			12:14:18	42,8
147	12:14:26	42,9	12:14:22	41,9			12:14:28	42,8
148	12:14:36	42,9	12:14:32	41,9			12:14:38	42,8
149	12:14:46	42,9	12:14:42	41,9			12:14:48	42,8
150	12:14:56	42,9	12:14:52	41,9			12:14:58	42,8
151	12:15:06	42,9	12:15:02	41,9			12:15:08	42,7

Расчетные соотношения

При оценке скорости реакции за базовое измерение берем показания термометра pt100, т.к. он имеет минимальную инерционность среди четырех участвующих в эксперименте термометров.

Считаем, что температура установления показаний (Туст.) наступит, когда разница температур снизится до 10% от максимума. Время установления показаний «Время уст.» – это время соответствующее Туст.:

Охлаждение

$$\Delta T_{\text{уст.}} = \frac{1}{10} \times |T_{\text{нач.}} - T_{\text{конеч.}}|$$

$$T_{\text{уст.}} = T_{\text{конеч.}} + \Delta T_{\text{уст.}}$$

$$\text{Время реакции} = \text{Время уст.} - \text{Время начала}$$

Итак, для **FIZEPR-SW100.17.12** получено:

$$\Delta T_{\text{уст.}} = \frac{1}{10} \times |27,8 - 23,5| = 0,43 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{уст.}} = 23,5 + 0,43 = 23,93^{\circ}\text{C} = 23,9^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Время установления} = 11:13:16 - 11:03:06 = 00:10:10 = 610 \text{ сек.}$$

Итак, для **Hydro-Mix HM07** получено:

$$\Delta T_{\text{уст.}} = \frac{1}{10} \times |29,2 - 25| = 0,42 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{уст.}} = 25 + 0,42 = 25,42^{\circ}\text{C} = 25,4^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Время установления} = 11:20:32 - 11:03:02 = 00:17:30 = 1050 \text{ сек}$$

Нагрев

$$\Delta T_{\text{уст.}} = \frac{1}{10} \times |T_{\text{нач.}} - T_{\text{конеч.}}|$$

$$T_{\text{уст.}} = T_{\text{конеч.}} - \Delta T_{\text{уст.}}$$

$$\text{Время реакции} = \text{Время уст.} - \text{Время начала}$$

Итак, для **FIZEPR-SW100.17.12** получено:

$$\Delta T_{\text{уст.}} = \frac{1}{10} \times |25,4 - 42,9| = 1,75 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{уст.}} = 42,9 - 1,75 = 41,15^{\circ}\text{C} = 41,2^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Время установления} = 11:54:46 - 11:51:36 = 190 \text{ сек}$$

Для **Hydro-Mix HM07** получено:

$$\Delta T_{\text{уст.}} = \frac{1}{10} \times |25,1 - 41,9| = 1,68 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{уст.}} = 41,9 - 1,68 = 40,22^{\circ}\text{C} = 40,2^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Время установления} = 12:02:42 - 11:51:32 = 670 \text{ сек}$$

Ошибку вычисляем как разницу между показаниями pt100 и показаниями влагомеров в конце эксперимента.

Значения температур в конце эксперимента

	FIZEPR-SW100.17.12		Pt100	Hydro-Mix HM07	
Охлаждение	23,5 °C	0,3 °C	23,2 °C	25 °C	+1,8 °C
Нагрев	42,9 °C	0,2 °C	42,7 °C	41,9 °C	0,8 °C

Как видно из таблицы, ошибка показаний температуры FIZEPR-SW100.17.12 для случая охлаждения и для случая нагрева практически одинаковая: разница составляет $0,3 - 0,2 = 0,1^{\circ}\text{C}$. Разница ошибок измерения температуры Hydro-Mix HM07 составляет $1,8 - 0,8 = 1^{\circ}\text{C}$.