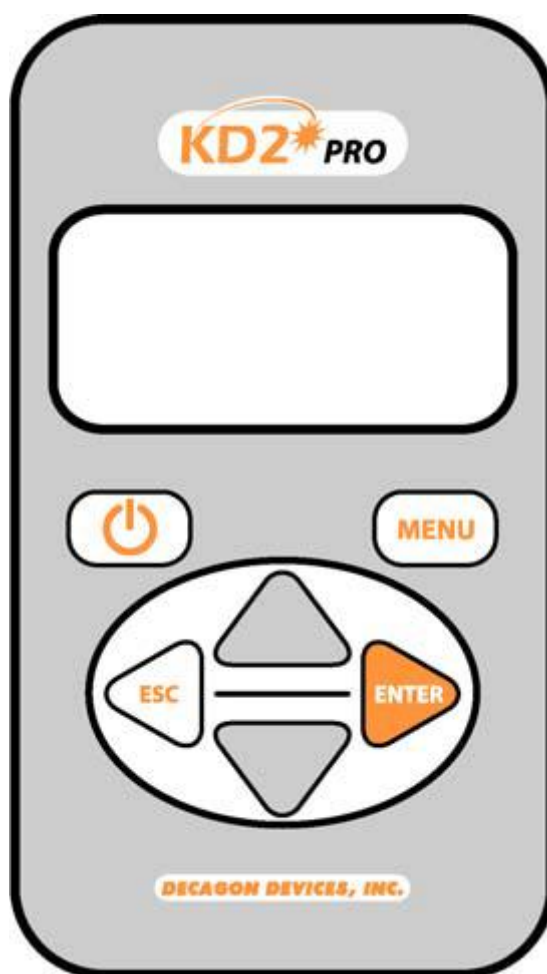


Прибор для определения теплофизических параметров материалов KD2 Pro

Руководство по эксплуатации



Изготовитель

Фирма «Decagon Devices, Inc.», США

Адрес: 2365 NE Hopkins County. Pullman, Washington state 99163, USA

Оглавление

1. Введение	3
О приборе KD2 Pro	3
2. Краткое описание прибора KD2 Pro	3
Спецификация	3
Управление клавишами.....	6
Выбор зонда.....	6
KS-1	7
TR-1	7
SH-1	7
Время измерения.....	7
Режим измерения	9
Установка зондов	9
Измерения в бетоне	10
Измерения в изоляционных материалах.....	10
3. Разделы Меню	10
Main Menu (Главное Меню).....	10
Проведение измерений.....	11
The Data Menu (Меню Данных).....	12
The Configuration Menu (Меню Настроек).....	13
The Auto Mode.....	15
4. KD2 Pro Utility.....	16
Требования к системе	16
Установка.....	17
Организация сохраненных данных	17
Удаление данных	18
Установка даты и времени	19
Режим Auto Mode.....	19
Просмотр информации о приборе KD2 Pro.....	20
Разделы меню и их функции.....	20
Устранение неполадок.....	23
5. Практические советы.....	23
6. Техническое обслуживание	25
Чистка и уход за зондом.....	25

Смена батареек.....	25
Устранение неполадок.....	25
Проверка работоспособности зонда.....	25
7. Теория KD2 Pro.....	26
Приложение А.....	29
Декларация соответствия.....	30

1. Введение

О приборе KD2 Pro

Принцип действия приборов основан на измерении скорости изменения температуры цилиндрического зонда, погруженного в испытываемый материал.

Приборы KD2 Pro являются ручными устройствами. Они состоят из измерительного блока и зондов, которые используют в различных материалах. Зонд с одним щупом предназначен для измерения теплопроводности и теплового сопротивления. Зонд с двумя щупами служит для измерения удельной теплоемкости и температуропроводности.

Комплект поставки KD2 Pro:

- прибор KD2 Pro - 1 шт.
- Зонд KS-1 - 1 шт.
- Зонд TR-1 - 1 шт.
- Зонд SH-1 - 1 шт.
- CD-ROM с программой “KD2 ProUtility” - 1 шт.
- кабель связи через интерфейс USB - 1 шт.
- AA батарейки - 4 шт.
- руководство по эксплуатации - 1 шт.
- Мера калибровочная - 3 шт.
- Сверла - 3 шт.
- Шило - 4 шт.
- методика поверки МП 2413-0034-2014 - 1 шт.

2. Краткое описание прибора KD2 Pro

Спецификация

Рабочие условия:

Измерительный блок: от 0 до 50 °С

Зонды: от -50 до +150 °С

Питание: 4 AA батарейки

Срок службы батареек: не менее 500 показаний при постоянном использовании или 3 года, если не использовать (саморазряд батареи в спящем режиме < 50 мкА)

Габаритные размеры: 15.5 см x 9.5 см x 3.5 см

Экран: 3 см x 6 см, 128 x 64 пикселей LCD

Клавиши: 6

Память: 4095 измерения во флэш-памяти (сохраняются как исходно получаемые данные, так и обработанные для скачивания)

Интерфейс: 9-пиновый серийный

Режимы снятия показаний: Ручной и Автоматический

Метрологические и технические характеристики

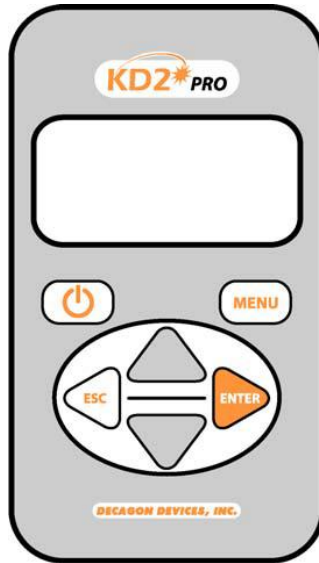
Таблица 1

Наименование характеристики	Значение характеристик зонда			
	Зонд KS-1	Зонд TR-1	Зонд SH-1	Зонд RK-1*
1	2	3	4	5
<p>Диапазон измерений теплопроводности, Вт/(м·К)</p> <p>при температуре, °С</p>	от 0,02 до 2,00	от 0,10 до 4,00	от 0,02 до 2,00	от 0,1 до 6,00
	от минус 50 до 150	от минус 50 до 150	от минус 50 до 150	от минус 50 до 150
Диапазон определения удельного теплового сопротивления, К·м/Вт	от 0,5 до 50	от 0,25 до 10	от 0,5 до 50	от 0,17 до 10
Диапазон измерений температуропроводности, м ² /с	-	-	(0,1 – 1)·10 ⁻⁶	-
Диапазон измерений объемной теплоемкости, МДж/(м ³ ·К)	-	-	0,5 – 4	-
Пределы допускаемой погрешности измерений теплопроводности	<p>± 7%</p> <p>в диапазоне 0,10 – 2,00 Вт/(м·К)</p> <p>±0,01 Вт/(м·К) в диапазоне 0,02 – 0,10 Вт/(м·К)</p>	<p>±10%</p> <p>в диапазоне 0,2 – 4 Вт/(м·К)</p> <p>±0,02 Вт/(м·К) в диапазоне 0,10 – 0,20 Вт/(м·К)</p>	<p>± 10%</p> <p>в диапазоне 0,1 – 2 Вт/(м·К)</p> <p>± 0,01 Вт/(м·К) в диапазоне 0,02 – 0,10 Вт/(м·К)</p>	<p>±10%</p> <p>в диапазоне 0,2 – 6,00 Вт/(м·К)</p> <p>±0,02 Вт/(м·К) в диапазоне 0,1 – 0,2 Вт/(м·К)</p>
Пределы допускаемой относительной погрешности температуропроводности	-	-	±10	-

, %				
Пределы допускаемой относительной погрешности объемной теплоемкости, %	-	-	±10	-
Среднее время проведения измерений, мин	1	5	2	10
Габаритные размеры зонда, мм (диаметр, длина)	1,3, 60	2,4, 100	1,3, 30	3,96, 60
Длина кабеля, м	0,8	0,8	0,8	0,8
Габаритные размеры, (высота, ширина, длина), мм, не более	200, 120, 50			
Масса без батареек, кг, не более	0,5			
Тип питания	4 батарейки типа АА			
Условия эксплуатации: диапазон температуры окружающего воздуха, °С диапазон атмосферного давления, кПа диапазон относительной влажности воздуха, %	от 0 до 50 от 84 до 106,7 от 30 до 80			
Средний срок службы, лет	10			

* Зонд РК-1 приобретается отдельно от основного комплекта поставки.

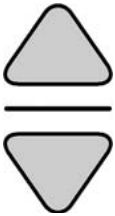
Управление клавишами



POWER: Кнопка питания включает и выключает прибор KD2 Pro.
(Примечание: прибор будет автоматически отключаться, если его не будут использовать более чем 10 минут, лишь при режиме Auto Mode он будет продолжать работать).



MENU: Данная клавиша позволяет перемещаться между разделами меню сверху экрана.



ARROW KEYS: Стрелки позволяют перемещаться между разделами и подразделами меню, а также задавать параметры в подразделах. Удержание кнопки «стрелка», позволяет вам быстрее перемещаться между параметрами.



ESCAPE: Данная клавиша позволяет выйти из подраздела, а также для отмены различных действия (см. “Стереть” в “Меню Данных” Раздел 2).



ENTER: Данная клавиша позволяет делать выбор между разделами и подразделами, а также включает «Начало измерений» (см. ниже “Как проводить измерения”, “Главное меню”).

Выбор зонда

Прибор для определения теплофизических параметров материалов KD2 Pro поставляется с тремя отдельными зондами, каждый из которых разработан для использования в специализированном материале, среде.

KS-1

Малый зонд с одним щупом KS-1 (60 мм длина, 1,3 мм диаметр) измеряет теплопроводность и удельное тепловое сопротивление. Данный зонд разработан специально для жидких сред и изоляционных материалов (теплопроводность < 0,1 Вт (Вт/м·К)). Зонд KS-1 подает малое количество тепло в щуп, что позволяют предотвратить естественную конвекцию в жидкости.

Однако, малый размер щупа и обычно короткое время нагрева, делает зонд KS-1 неподходящим выбором для работы с материалом в гранулах, таких как почва или порошки, где контактное сопротивление может стать причиной ошибки в измерениях. В изоляционных материалах значением контактного сопротивления пренебрегают, что делает зонд KS-1 подходящим для данного вида материала.

TR-1

Большой зонд с одним щупом TR-1 (100 мм длина, 2,4 мм диаметр) измеряет теплопроводность и удельное тепловое сопротивление. Он разработан в частности для почвы, бетона, камней, и других твердых материалов и материалов в гранулах. Относительно большой диаметр и обычно длительное время нагрева зонда TR-1 снижает значение ошибки от контактного сопротивления в материале из гранул или твердых материалах с порами. Зонд TR-1 нагревает материал значительно больше, чем зонд KS-1, что позволяет ему измерять более теплоемкие вещества. Но также это значит, что Вы не можете измерять жидкие материалы с помощью зонда TR-1. Имея больший диаметр, зонд TR-1 является более прочным по сравнению с KS-1. Также габариты зонда TR-1 соответствуют спецификациям IEEE 442-03 Guide for Soil Thermal Resistivity Measurements для Lab Probe (лабораторная проба).

SH-1

Зонд с двумя щупами SH-1 измеряет объемную теплоемкость, температуропроводность, теплопроводность и удельное сопротивление. Зонд SH-1 совместим с большинством твердых материалов, а также материалов в гранулах, но он не может использоваться с жидкостями из-за большого теплового импульса, который может привести к естественной конвекции.

Время измерения

Время указано в минутах. Тепло к зонду подается в течение половины времени измерения термических свойств.

Для приведения температуры в равновесие, требуется примерно 30 сек. Поэтому общее время измерения = время измерения + 30 сек. В течение времени измерения производится 60 температурных замеров. Это число отображается в верхнем правом углу экрана, и доступно для обработки при следующей передаче данных. По умолчанию время измерения для KS-1 равно 1 минуте, 2 минуты для зонда SH-1 и 5 для зонда TR-1.

Более длительное время измерения с зондом TR-1 позволяет избежать влияния большого диаметра зонда, а также контактного сопротивления между зондом и образцом (гранулы

или твердые материалы). Если вам нужно измерять тепловые свойства зернового материала с диаметром пор больше, чем диаметр зонда, то в этом случае лучше использовать зонд TR-1, и установить время измерения на максимально возможные 10 минут.

Укороченное время измерения с помощью зонда KS-1 снижает количество тепла, подаваемого в образец. Это является особенно важным для избегания возникновения естественной конвекции (см. Главу 6). В низковязких материалах (как вода или водные растворы), время измерения должно быть установлено на минимум: 1 минута.

Для задания времени измерения перейдите в раздел Read Time и нажмите Enter. Выберете зонд, с помощью которого будут производиться измерения и нажмите Enter, затем задайте с помощью стрелок время измерения и нажмите Enter.

Совместимость зондов KD2 Pro с исследуемыми материалами

Образец материала	KS-1	TR-1	SH-1
Низковязкие материалы (вода, водные растворы)	Best ¹	No	No
Высоковязкие материалы (глицерин, масла)	Best ²	Ok	No
Изоляционные материалы	Best ³	Ok	Ok
Влажная почва	No	Best	Ok
Сухая почва, порошки, гранулированные вещества	No	Best ⁴	Ok
Бетон	No	Best ⁵	Ok ⁶
Камни	No	Best ⁵	Ok ⁶
Другие жидкости	No	Best ⁵	Ok
Объемная теплоемкость	No	No	Best
Термодиффузия	No	No	Best

1 В низковязких веществах, время измерения должно быть установлено на минимум (1 минута) и работать в режиме подвода малого количества тепла во избежание возникновения естественной конвекции.

2 В высоковязких веществах зонды KS-1 или TR-1 должны использоваться только в режиме подвода малого количества тепла.

3 Щупы зондов KS-1 или TR-1 в режиме малой подачи тепла со временем измерения в 10 минут дают хорошие результаты в изоляционных материалах. Температуры нагревания в режиме подвода большого количества тепла достаточны большие для изоляционных материалов.

4 В сухих гранулированных материалах, где контактное сопротивление может быть значительным, время измерения, увеличенное до 10 минут, будет давать наиболее точные результаты.

5 В твердых материалах, где отверстие под щуп высверливается, и контактное сопротивление может быть значительным, используя термопасту и время измерения 10 минут, будет давать наиболее достоверные результаты.

6 Зонд SH-1 производит точные измерения в камнях и выдержанном бетоне. При этом важно высверлить параллельные отверстия маленького диаметра для щупов SH-1 в этих материалах.

Режим измерения

С помощью прибора KD2 Pro вы можете для всех трех датчиков выбрать режим, в котором работать: подвода малого или большого количества тепла. В режиме большого количества тепла, прибор KD2 Pro подает большой ток нагревания, тем самым нагревая зонд. В режиме подвода малого количества тепла, соответственно, идет меньшее нагревание. Зонд KS-1 по умолчанию установлен на режим подвода малого количества тепла, в то время как зонды TR-1 и SH-1 по умолчанию установлены на режим подвода большого количества тепла. Мы рекомендуем, чтобы установленный по умолчанию режим был изменен только в случае необходимости и с помощью экспертов. В большинстве случаев, смена установленного по умолчанию режима, приведет к ухудшению точности измерения по сравнению с установленным по умолчанию режимом. Не изменяйте установленные по умолчанию настройки до тех пор, пока вы не станете экспертом в работе с данным прибором.

- НЕЛЬЗЯ проводить измерения в жидкостях с помощью зондов KS-1 или TR-1 в режиме большого подвода тепла. Большой подвод тепла приведет к возможности возникновения естественной конвекции, что исказит результаты измерений (см. главу 6).
- НЕЛЬЗЯ проводить измерения в низковязких жидкостях с помощью зонда SH-1 в ОБОИХ режимах измерения!
- Использование зондов TR-1 и SH-1 в режиме подвода малого количества тепла является более приемлемым, т.к. при этом вероятность плавления мерзлых образцов снижается. Одной из ситуаций, когда бы мы рекомендовали использовать настройки не по умолчанию, это измерение удельной теплоемкости снега. В этом примере мы рекомендуем использовать зонд TR-1 для снижения контактного сопротивления, а также установить режим для снижения скорости процесса плавления.

Установка зондов

Все три зонда для работы с прибором KD2 Pro были сконструированы так, чтобы их было просто устанавливать в образце. Во время установки необходимо обратить внимание на:

- **Зонд должен быть установлен на всю свою длину в образце.**
- Для 10 см датчика включено сверло для проделывания отверстий в дереве или твердой почве. Для камней (или выдержанного бетона) отверстие в 1/8" может быть сделано с помощью роторного перфоратора. С помощью термопасты обеспечивается оптимальный контакт между иглой и камнем.
- Для зонда с двумя щупами необходимо сохранять параллельность между ними во время установки. Используйте специальное (красное) устройство с направляющими отверстиями, чтобы убедиться, что щупы располагаются правильно.
- Так как зонды посылают тепловые импульсы, то необходимо, чтобы вокруг зондов обеспечивалось хотя бы по 1,5 см материала по всем направлениям, или будет получена ошибка.
- **НЕ ИЗГИБАЙТЕ ЩУПЫ ЗОНДОВ**, так как это может привести к их повреждению.

- При просверливании отверстия под зонд, необходимо обеспечить хороший контакт между щупом зонда и исследуемым материалом для получения хорошей точности. Убедитесь, что зонд располагается плотно в отверстии. Используйте термопасту из комплекта KD2 Pro для улучшения контакта в больших отверстиях или зернистых образцах.

Измерения в бетоне

Если прибор KD2 Pro планируется использовать для измерения в бетоне, то желательно сделать отверстие в мокром бетоне с помощью направляющего штыря:

- Покрыть направляющий штырь вазелином.
- Установите штырь на 100 мм глубину пока бетон мокрый.
- Вытащите штырь, когда бетон высохнет.
- Покройте зонд с одним щупом с помощью термопасты, установите в отверстие и начните снимать показания.

Если измерения необходимо проводить в уже выдержанном бетоне, то сделайте отверстия в исследуемом материале согласно процедуре, описанной выше в разделе «Установка зонда».

Измерения в изоляционных материалах

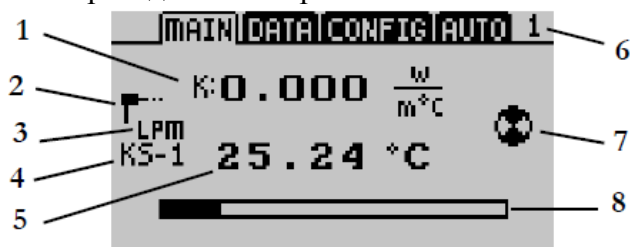
Лучше всего проводить измерения в изоляционных материалах с помощью зонда KS-1 в 10-минутном режиме измерения. Длительное время измерения снижает ошибку от контактного сопротивления, а режим низкого подвода тепла снижает вероятность естественной конвекции. В пенной изоляции (изоляция из пенопласта) необходимо проделать отверстие для проведения измерения. Если вы просто воткнете щуп в материал, это может привести к сжатию материала вокруг кончика щупа, что приведет к неправильным показаниям. В материалах волокнистой изоляции убедитесь в правильном расположении иглы (чтобы материал не уплотнился у кончика щупа). Не позволяйте пробе перемещаться во время проведения измерения.

3. Разделы Меню

Прибор KD2 Pro имеет 4 основных меню: MAIN, DATA, CONFIG, и AUTO (respectively).

Main Menu (Главное Меню)

Главное меню отвечает за проведение измерений.



1. Отображает, какой параметр на данный момент измеряет прибор:
К = Теплопроводность

C = Объемная теплоемкость

D = Температуропроводность

rho = Удельное тепловое сопротивление

Примечание: Когда значок «буквы» будет мигать, то с помощью стрелок перемещайтесь для изменения параметра.

2. Показывает, что зонд подключен.

3. Режим измерения: подвод большого количества тепла (HPM) или подвод малого количества тепла (LPM).

4. Тип подключенного зонда, название.

5. Температура измерения в °C или °F.

6. Время измерения.

7. Показывает, что ведется измерение.

8.«Полоса прохождения процесса» показывает сколько прошло времени от установленного времени измерения.

Проведение измерений

Для проведения измерения с помощью прибора KD2 Pro сделайте следующее:

Примечание: Если температура образца отличается от температуры зонда, то зонд необходимо откалибровать по внешней температуре до начала измерений.

1. Подключите необходимый зонд, затем включите прибор KD2 Pro.

2. Аккуратно установите зонд в исследуемый материал.

3. При включении прибора KD2 Pro Вы попадете в Main Menu. Если нет, то нажмите кнопку Menu, пока не попадете в него. Нажмите Enter для начала измерений.

4. На экране справа и слева появятся иконки. Иконка слева показывает тип подключенного зонда. Круг показывает, что измерения проводятся в данный момент. Он изменится на «термометр»: отображает в каком режиме сейчас находится процесс измерения (нагрева или охлаждения). Когда температура на иконке растет, то прибор в режиме нагрева, если падает, то охлаждения. «Полоса прохождения процесса» показывает сколько прошло времени от установленного времени измерения.

5. Когда «полоса прохождения процесса» полностью станет темной, то результаты отобразятся как:



The screenshot shows the KD2 Pro display with the following information:

0.122 $\frac{W}{mK}$	<input checked="" type="radio"/> Save
34.0°C	<input type="radio"/> Annotate
err = 0.0016	<input type="radio"/> Discard
Record 2 of 4095	

С левой стороны экрана отображаются три значения:

- **Показания термических свойств** – рассчитанные термические показания.

- **Начальная температура** – первоначальная температура до нагрева или охлаждения.

- **Err Value**- Значение Err value это критерий согласия или относительная ошибка для набора данных. Он показывает: как выбранная модель соответствует данным (раздел Теории в данном мануале описывает модели). Если модель полностью удовлетворяет данным, тогда err = 0.0000. Цель отображения данного параметра в том, чтобы показать возможную ошибку в данных. Данные с хорошими показателями будут иметь значение ошибки ниже 0.0100, исключение составляет низкая термическая электропроводность

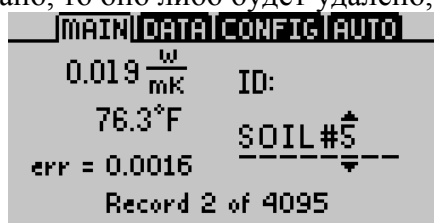
(например, изоляционные материалы). Если значение ошибки (err) необычно велико, то сбросьте данные, подождите 15 минут и сделайте другое измерение.

С правой стороны указано три типа сохранения данных:

- Save – Сохраняет ваши значения без изменений;
- Annotate – Вы можете добавить Имя образца к значениям;
- Discard – сброс текущих значений и возврат к главному меню.

Примечание: Если память прибора заполнена, или температура образца была нестабильна во время измерения, то снизу экрана будет отображено сообщение об ошибке. В этом случае вы все еще можете продолжать измерения, но вы не сможете сохранить их в память прибора KD2 Pro.

Комментирование показаний: При выборе опции “Annotate” вы увидите набор линий со стрелками вверх-вниз. Используйте стрелки для выбора цифр или букв и нажмите Enter для перехода к следующему символу (как показано ниже). Если ваше предыдущее значение было комментировано, то оно либо будет удалено, либо изменено.

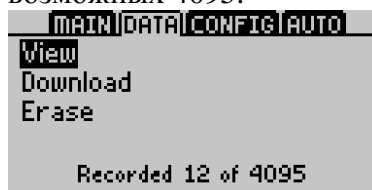


Заполните таким образом все комментарии. Когда закончите, то нажмите Enter пока вы не дойдете до конца линии. Удержание Enter или Escape позволит вам быстрее перемещаться между Sample ID.

Примечание: Необходимо подождать хотя бы 15 мин между снятиями показаний, если зонд располагается в том же материале! Если последовательные измерения следуют друг за дружкой слишком быстро, то у температуры образца не будет достаточно времени, чтобы уравновеситься от предыдущего измерения, и результаты измерения будут неточны. Для лучших результатов температура должна быть как можно ближе к равновесию. Для лучшего равновесия между образцом и зондом прибора KD2 Pro можно поместить их в изотермическую камеру

The Data Menu (Меню Данных)

Меню Data Menu позволяет вам просматривать сохраненные данные, загружать данные в компьютер, а также удалять их из прибора KD2 Pro. Также меню показывает, сколько параметров было сохранено из возможных 4095.



Описание подразделов данного меню:

VIEW: Данное меню позволяет вам просматривать уже сохраненные в приборе данные. Нажмите Enter для получения доступа к ним, а также стрелки вверх=вниз, чтобы перемещаться между ними. Нажав Enter во второй раз, вы можете просмотреть дополнительную информацию о показании.

DOWNLOAD: Данное меню передает данные, сохраненные в приборе на компьютер. Есть два варианта передачи данных:

- Download All – Сохраняет как температуру показания, так и измеренные тепловые свойства.
- Download Summary – Сохраняет лишь термические свойства.

Примечание: Прибор KD2 Pro поставляется с программным обеспечением KD2 Pro Utility для работы с Microsoft Windows. В большинстве случаев вам стоит использовать KD2 Pro Utility для передачи данных, чем опцию download в приборе KD2 Pro.

Если у вас нет возможности использовать KD2 Pro Utility, то вы можете использовать терминальное ПО для передачи данных с прибора KD2 Pro на компьютер.

1. Задайте для вашего терминального ПО следующие настройки:

- 9600 baud
- 8 data bits, 1 stop bit, no parity
- No software/hardware flow control
- Append line feeds to incoming line ends
- Echo typed characters locally.

2. Подключите прибор KD2 Pro к свободному серийному порту компьютера, используя серийный кабель RS-232.

3. Установите ПО терминала на получение данных, если хотите их сохранить.

4. Выберите необходимую для вас опцию передачи данных в приборе KD2 Pro.

ERASE: Удалит все имеющиеся данные в приборе KD2 Pro.

Внимание! Эта функция полностью удаляет все данные из прибора, и, если она активирована, то отменить ее уже нельзя!

Для удаления данных:

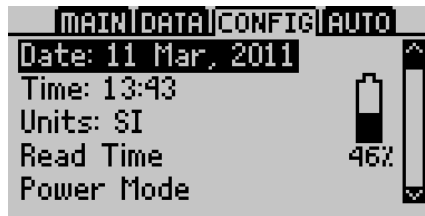
1. Нажмите Enter для выбора подраздела Erase, при этом появится экран “Erase all stored data?” (удалить все сохраненные данные?)

2. Вновь нажмите Enter для удаления данных их памяти, или Escape решите не продолжать.

3. По завершению процесса удаления, вы вернетесь в меню Menu.

The Configuration Menu (Меню Настроек)

Меню Configuration Menu позволяет вам изменять системные настройки как дата, время, единицы измерения, а также просматривать информацию о приборе KD2 Pro. Иконка батареи показывает заряд батареи в процентах.



DATE: Изменение текущей даты

1. Нажмите Enter для отображения даты.
2. Текущая дата будет отображаться посередине экрана в формате день/месяц/год. Пара стрелок будет располагаться сверху и снизу цифры.
3. Используйте стрелки вверх-вниз для изменения цифры.
4. Нажмите Enter, чтобы перейти к следующей цифре и повторите шаг #3. Если вам необходимо вернуться к предыдущему числу, то нажмите Escape.
5. Когда вы измените последнюю необходимую цифру, то нажмите Enter и вы возвратитесь в меню Configuration Menu.

TIME: Изменение текущего времени

1. Нажмите Enter для отображения Time .
2. Текущее время будет отображаться посередине экрана в формате 24 часа. Пара стрелок будет располагаться сверху и снизу цифры.
3. Используйте стрелки вверх-вниз для изменения цифры.
4. Нажмите Enter, чтобы перейти к следующей цифре и повторите шаг #3. Если вам необходимо вернуться к предыдущему числу, то нажмите Escape.
5. Когда вы измените последнюю необходимую цифру, то нажмите Enter и вы возвратитесь в меню Configuration Menu.

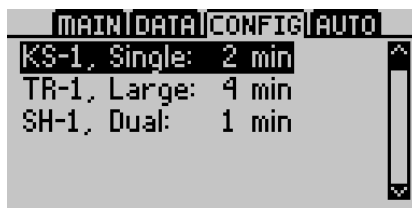
UNITS: Вы можете выбрать отображение единиц измерения как в СИ, так и в английском формате. Для выбора опции нажмите Enter. При возврате в Main Menu, нажимая кнопки стрелок, позволяет вам перемещаться между единицами и изменять их.

	Thermal Conductivity (K)	Thermal Resistivity (ρ)	Volumetric specific heat (C)	Thermal Diffusivity (D)
СИ	$\frac{W}{(m * K)}$	$\frac{{}^0C * cm}{W}$	$\frac{MJ}{m^3 * K}$	$\frac{mm^2}{s}$
Английские единицы	$\frac{BTU}{hr * ft * {}^0F}$	$\frac{hr * ft * {}^0F}{BTU}$	$\frac{BTU}{{}^0F * ft^3}$	$\frac{ft^2}{hr}$

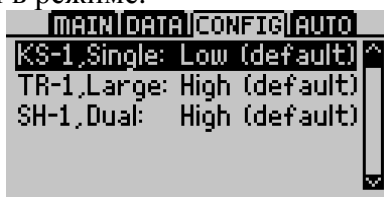
Примечание: Значения *ватт деленый на метр на градус Цельсия* $W/(m \text{ } ^\circ C)$ *тоже самое, что и ватты деленые на метр на градус Кельвина* $W/(m \cdot K)$.

READ TIME: Позволяет вам изменять время проведения измерения для каждого зонда. Для изменения выберите зонд и нажмите Enter. Используйте стрелки вверх-вниз,

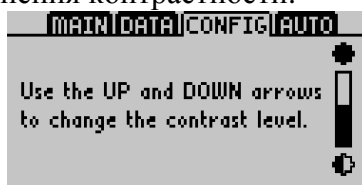
установите новое время. Нажмите Enter, чтобы сохранить изменения, или ESC для выхода без изменений.



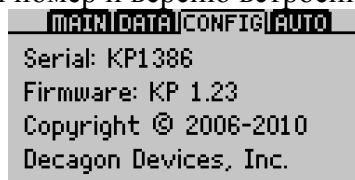
POWER MODE: Позволяет вам изменять режим измерения для каждого типа зонда. Не изменяйте заданные по умолчанию настройки, пока вы не будете являться специалистом в данном вопросе. Для изменения режима выберите зонд и нажмите Enter для смены между режимом подвода малого и большого количества тепла. Нажмите ESC или MENU для подтверждения изменений в режиме.



CONTRAST: Позволяет изменять контрастность экрана. Нажмите Enter и следуйте инструкции на экране для изменения контрастности.

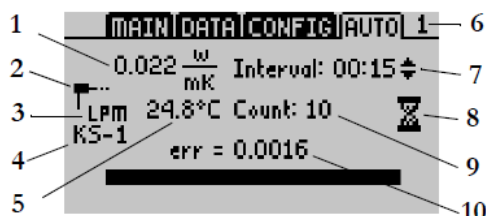


ABOUT: Показывает серийный номер и версию встроенного ПО вашего KD2 Pro.



The Auto Mode

Режим Auto Mode позволяет задать автоматическое измерение показаний. Вы можете выбрать время измерения с интервалом в 15 минут. Значения показаний будут отображаться в выбранных вами единицах измерения. **NOTE:** Если память прибора KD2 Pro будет полностью заполнена (4095 показаний), вы все еще можете продолжать снимать показания, но вы не сможете их сохранить.



1. Конечное измерение в выбранных единицах.
2. Иконка, отображающая, что зонд подключен.
3. Индикатор режима измерения: подвод большого количества тепла (HPM) или подвод малого количества тепла (LPM).

4. Тип подключенного зонда.
5. Измерение температуры в °C или °F.
6. Отображает время измерения в минутах.
7. Интервал измерения. Данное время может быть задано либо в меню CONFIG или в программном обеспечении KD2 Pro Utility. *Примечание:* Когда данная иконка мигает, то используйте стрелки для смены интервала времени измерения.
8. Иконка песочные часы показывает, что в данный период отсчитывается время до следующего измерения.
9. Число сделанных измерений.
10. Величина Err показывает ошибку ваших измерений (дополнительная информация в разделе “Main Menu”).

Примечание: ПО KD2 Pro Utility дает вам больше опций для работы с режимом Auto Mode, включая различные интервалы времени, отсрочка измерения, и другое.

4. KD2 Pro Utility



Главная страница программы

KD2 Pro Utility- это программа, разработанная специально для работы с прибором KD2 Pro. Используйте данную программу для загрузки данных из прибора в компьютер, стирания данных из KD2 Pro, задание времени и даты, настройка прибора на автоматическое получение данных, а также для просмотра данных о вашем приборе KD2 Pro.

Требования к системе

Для работы с KD2 Pro Utility Ваш компьютер должен иметь следующие минимальные характеристики:

- Microsoft Windows 98 или NT 4 (SP 5) или выше
- Intel Pentium Pro или выше
- Свободный серийный или USB порт
- Microsoft Excel 97 или выше

Установка

Программное обеспечение KD2 Pro Utility можно установить, используя диск из комплекта поставки прибора KD2 Pro. Также вы можете скачать последнюю версию ПО с сайта www.decagon.com.

Загрузка данных

В этом случае все сохраненные данные из прибора будут переданы в компьютер:

1. Убедитесь в том, что кабель RS-232 подключен к прибору KD2 Pro и COM-порту вашего компьютера.
2. Откройте программу KD2 Pro Utility.
3. Выберите соответствующий COM-порт из “Use computer communication port” (выбор порта) на главной странице программы.
4. Нажмите “Download”. Также вы можете перейти в меню File Menu и выбрать одну из двух опций:
 - 1) Download Summary Data – Загружает и обобщает сохраненные данные, не показывая значения в секунду.
 - 2) Download All Data – сохраняет все данные, имеющиеся в памяти прибора KD2 Pro на данный момент. Отображает все данные измерений, включая посекундные измерения.

Если вы столкнулись с выводом ошибки после нажатия данной кнопки, то обратитесь к разделу «Устранение ошибок» для дополнительной информации.

Присвойте имя файлу, выберите путь сохранения, а также в каком формате данные будут сохраняться. Можно выбрать между следующими форматами:

- Microsoft Excel Workbook (*.xls);
- Comma delimited (*.csv);
- Tab delimited (*.txt);
- Raw data (also *.txt)

5. Нажмите “Save” для сохранения данных:



KD2 Pro download dialog

Примечание: Вы можете отменить загрузку данных, нажав cancel (отмена), при этом никакие переданные данные не сохраняются.

Организация сохраненных данных

Измеренные данные с KD2 Pro сохраняются в одном том же формате, несмотря на то, какой формат был выбран вами. Вы можете сохранить лишь Summary data или All data, которые включают дополнительную информацию.

Нажмите Download или выберете “Download Summary Data” из File Menu. Это создаст следующие колонки:

- Measurement Time – Дата и время, когда были сделаны измерения.
- Sensor – Номер зонда, используемого для измерения.
- K (Теплопроводность) - в $W/(m \cdot K)$ или $BTU/(hr \cdot ft \cdot ^\circ F)$.
- rho (Удельное тепловое сопротивление) - в $^\circ C \cdot cm/W$ или $hr \cdot ft \cdot ^\circ F/ BTU$.
- C (Объемная теплоемкость) - в $MJ/(m^3 \cdot K)$ или $BTU/(^\circ F \cdot ft^3)$.

Колонки с удельной теплоемкостью и тепловым сопротивлением будут только при проведении измерения с помощью зонда SH-1.

- D (Температуропроводность) - в mm^2/s или ft^2/hr (только для зонда с двумя щупами).
- Err- Соответствие данных из KD2 Pro с теоритической моделью.
- Temp(0) – начальная температура образца в $^\circ C$ или $^\circ F$.
- Sample ID – Если сохранено вместе с измерениями.
- Read Time – минуты с начала нагрева. Интервал между измерениями также относится ко времени измерения (в секундах).
- Power Mode – Режим измерения, выбранный во время измерения.

Выбирая “Download All Data” из File Menu создает колонки со всеми колонками, указанными выше, а также:

- Power – мощность, Вт/м.
- Current – ток, Амперы.

Следующие 60 колонок в строке содержат индивидуальные температурные измерения KD2 Pro для расчета термических свойств образца. Данные отображаются в $^\circ C$ или $^\circ F$.

Примечание: все 60 индивидуальных температурных показаний снимаются в зависимости от времени измерения. Например, если время измерения одна минута, то показания температуры идут за 1 сек. Если время измерения составляет 5 минут, то температурные показания идут с интервалом в 5 сек.

ПО KD2 Pro Utility согласует время со временем на компьютере “Regional and Language Options” (“Regional Settings” в Windows 98). Вы можете их изменить Preferences Menu > Data File tab, и выбрав опцию “Date/Time Format”.

Удаление данных

Все данные KD2 Pro будут удалены.

Внимание! При активации данной функции все данные, сохраненные в KD2 Pro, будут удалены и не могут быть восстановлены!

1. Убедитесь, кабель RS-232 подключен к KD2 Pro и COM-порту на вашем компьютере.
2. Выберете необходимый COM-порт из “Use computer communications port” главного меню.
3. Нажмите “Erase” в нижнем левом углу или выберете “Erase Data...” из File Menu.

Если Вы увидели сообщение об ошибке после нажатия данной клавиши, то обратитесь к разделу «Устранение неполадок».

Установка даты и времени

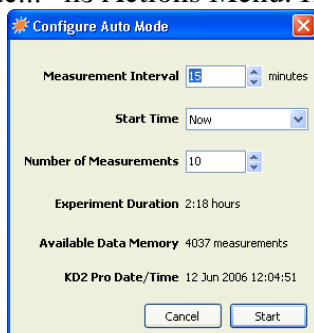
Задать дату и время вы можете, выбрав “Set KD2 Pro Date/Time...” из меню Actions Menu. Это автоматически синхронизирует данные в приборе KD2 Pro с датой и временем на вашем компьютере.

Режим Auto Mode

Режим Auto mode позволяет вам делать автоматические, непрерывные измерения в установленном интервале времени. Прибор KD2 Pro имеет предустановки для данного режима. Но вы можете его улучшить, используя ПО KD2 Pro Utility. Например, вы можете выбрать определенные интервалы измерения, сделать отсрочку измерения, а также число измерений из данного меню.

Настройка режима Auto Mode с помощью KD2 Pro Utility:

1. Подключите KD2 Pro через серийный порт к компьютеру. Выберите порт в “Use computer communication port”.
2. Выберите “Configure Auto Mode...” из Actions Menu. Появится следующий экран:



3. Задайте значения интервала измерения, время старта, число измерений.

Интервал измерения

Интервал времени между измерениями в минутах. Минимум между интервалами измерений составляет 15 минут, необходимых для рассеивания температурного градиента. Поэтому, вы можете выбрать любое значение свыше 15, вплоть до 1440 минут (24 часа).

Время старта

Вы можете задать: когда в автоматическом режиме начинать измерения. Вы можете выбрать между “Start Now” (начать сейчас) или отложить на 24 часа. Если вы выберете “Start Now,” то примерно 30 секунд зонд будет «настраиваться» для снятия показаний.

Число измерений

Число измерений, производимых KD2 Pro в режиме Auto Mode. Количество доступных измерений составляет от 1 и в зависимости от свободной памяти. При изменении данного параметра изменится значение Experiment Duration. KD2 pro сохраняет до 4095 показаний.

Длительность измерения

Общее время, в котором KD2 Pro работает в режиме Auto Mode, в зависимости от установленного интервала измерений и числа измерений.

Доступная память

Показывает, сколько свободного места вы имеете для сохранения данных. KD2 Pro будет предупреждать измерения, которые будут превышать память по загрузке. Если был достигнут лимит по памяти, то KD2 Pro остановит измерения в режиме Mode.

KD2 Pro Date/Time

Показывает текущее время в приборе KD2 Pro. Если время показывает неверно, то нажмите кнопку Cancel, выберете “Set KD2 Pro Date/Time...” из меню Actions.

4. Нажмите на клавишу Start. ПО KD2 Pro Utility отправит настройки в ваш прибор.

5. Отключите серийный кабель от KD2 Pro, затем подключите желаемый зонд для измерения теплофизических свойств.

Просмотр информации о приборе KD2 Pro

Выберете “View KD2 Pro Information...” из меню Actions:



KD2 Pro Информационный экран

Информация включает серийный номер, версию и статус встроенного ПО, статус заряда батареи, количество сохраненных измерений, текущая дата и время в приборе KD2 Pro.

Разделы меню и их функции

File

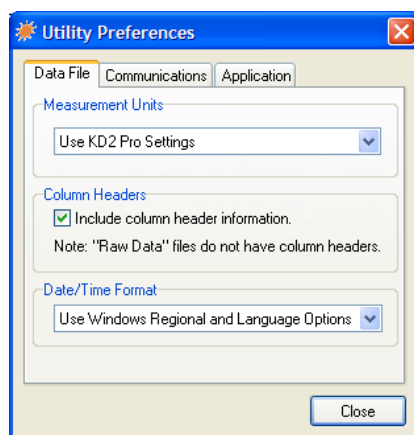
Загрузка Summary Data/Download All Data. См. раздел “Download Data”.

Erase Data...стирает все данные в приборе KD2 Pro.

Edit

Preferences... Данный подраздел изменяет программные настройки, а также настройки для подключения к KD2 Pro. Подраздел связан с тремя следующими разделами:

1. Data File Preferences

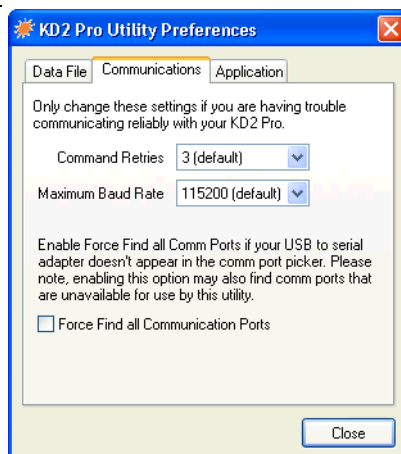


Measurement Units (единицы измерения): Если вы выберете “Use KD2 Pro Settings,” то это сохранит все имеющиеся данные в KD2 Pro. Вы можете изменить настройки, и сохранять либо в метрической системе, либо в английских единицах.

Column Headers (название колонок): Данная опция включает в себя название загружаемых колонок (например, «Время Измерения», «Индивидуальный номер образца», и т.д.).

Date/Time Format (формат времени и даты): Задает формат времени и даты сохраняемых файлов. См. “How Saved Data are Organized” для дополнительной информации.

2. Communications Preferences

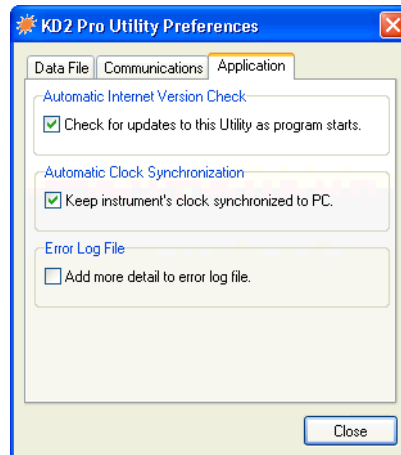


Command Retries (попытка подключения): Если Вы сталкиваетесь с трудностями подключения к прибору KD2 Pro, то вы можете задать количество попыток подключения (до 10).

Maximum Baud Rate (максимальная скорость передачи данных): Вы можете задать максимальную скорость подключения к KD2 Pro. Выберете более низкий уровень скорости подключения, если вы не получаете желаемой связи с вашим прибором.

Force Find all Communications Ports (принудительный поиск всех портов): Это отобразит все имеющиеся порты на вашем компьютере, а также необходимо использовать, если ваш адаптер serial-to-USB не отображается в “Use computer communication port”.

3. Application Preferences



Automatic Internet Version Checks: автоматически проверяет наличие новой версии KD2 Pro Utility в интернете. При подключении компьютера к интернету, сообщит о наличии новой версии. Вы можете отключить эту функцию, выбрав (un-checking). Вы можете в любое время вручную проверить наличие обновлений, выбрав “Check for Utility Updates...” в меню Help.

Automatic Clock Synchronization: автоматически синхронизирует время в приборе KD2 Pro со временем на вашем компьютере, когда вы подключены к нему. См. инструкцию для настройки функции вручную.

Error Log File (файл ошибки): Дополнительная информация об ошибке, которая может быть отправлена в Decagon.

Actions

KD2 Pro Date/Time... См. Раздел “Setting Date and Time”.

Auto Mode. Позволяет настраивать работу KD2 Pro в автоматическом режиме Auto mode, используя ПО KD2 Pro Utility. Вы можете задать определенный интервал измерения, время старта. См. раздел “Setting the Auto Mode”.

View KD2 Pro Information... Отображает информацию о приборе KD2 Pro. Смотрите “Viewing KD2 Pro Information” для дополнительной информации.

Help

Help. Подробно описывает, как работать с программой KD2 Pro Utility.

Check for Utility Updates... Проверка наличия обновлений для ПО KD2 Pro Utility.

Check for Firmware Updates... Проверка обновлений для встроенного ПО KD2 Pro с помощью KD2 Pro Utility.

About KD2 Pro Utility... Отображает действующую версию программы и контактную информацию о Decagon.

Устранение неполадок

Данная информация поможет вам в случае, если вы столкнетесь с трудностями при работе с программным обеспечением KD2 Pro Utility.

ПРОБЛЕМА: ПО KD2 Pro Utility сообщает, что порт связи, который я хочу использовать, занят другим приложением, но я уверен, что он свободен.

Решение: Отключите Microsoft ActiveSync или Palm HotSync при использовании серийного порта с KD2 Pro Utility.

ПРОБЛЕМА: Мой адаптер USB-to-Serial не отображается.

Решение: Примените “Force find all Communication Ports” (принудительный поиск портов) через меню Edit > Preferences и Communication tab. Активирование данной опции может помочь найти другие доступные порты, несовместимые с KD2 Pro Utility (например, модем).

ПРОБЛЕМА: Загрузка данных была прервана с выводом ошибки, что была утрачена связь с KD2 Pro.

Решение: «зашумленное» подключение к серийному порту может прервать связь между ПО KD2 Pro Utility и прибором KD2 Pro. Если данная ошибка появляется часто, то попробуйте установить скорость передачи данных более низкой, или увеличить число попыток подключения к KD2 Pro. Для изменения выберите “Communications” в Preferences.

5. Практические советы

Качество показаний, полученных вами с помощью KD2 Pro, зависят от экспериментальных методов, используемых вами. Следующие рекомендации позволят вам распознать и избежать возможных неправильных показаний, т.е. получаемые вами результаты будут как можно более точными.

- 1. Сохраняйте температуру образца как можно более равномерной во время проведения измерений.** Измерения проводятся нагреванием щупа, погруженного в образец, и контролированием того близка ли температура этого зонда к температуре нагревателя. Количество подаваемого тепла является как можно меньшим, чтобы не возникло перераспределения жидкости в образце. Поэтому отличие температуры от нагревателя может составлять всего десятые градуса. Изменения температуры образца могут влиять на возможность расчета термических свойств образца. Алгоритмами в приборе KD2 Pro являются величины некоторых порядков, и они менее восприимчивы к ошибкам, чем конвекционный метод подхода (график зависимости температуры от логарифма времени нагревания, и поиск на нем линейной зависимости); хотя можем также выдавать большие ошибки, если температура меняется слишком быстро. Для снижения ошибок:

- a. До начала измерения приведите температуру зонда и образца в равновесие. Обычно это составляет от 15 до 20 минут.
- b. Прибору требуется некоторое время для рекалибровки после измерений. Не менее 15 минут.
- c. Если измерения проводятся в печи или в охладителе, то убедитесь, что температура образца относительно в равновесии до того, как начинать измерения. Измерения, сделанные в образцах из печи, или охлажденных до комнатной температуры, покажут значительные ошибки при большой скорости охлаждения.
- d. При измерении термических свойств в полевых условиях, требуется выждать от минуты и более для температурной калибровки.

2. **Минимизируйте контактное сопротивление.** В материалах из гранул или в твердых веществах, где отверстия для зонда было высверлено, существует дополнительное тепловое сопротивление между нагреваемым щупом и материалом, в который он погружен. Это дополнительное сопротивление называется контактным сопротивлением, и оно снижает значение теплопроводности, регистрируемое зондом. Этот эффект может быть снижен с помощью термопасты, введенной в отверстие до погружения в нее зонда, как описано в заметке “Reducing Contact Resistance Errors in KD2 Thermal Properties Measurements”, расположенной на www.decagon.com/thermal. Если просверливать отверстие в материале под зонд, то убедитесь, что зонд располагается в отверстие как можно плотнее. Термопаста используется для улучшения контакта между зондом и материалом.

Длительное время измерения также снижает эффект контактного сопротивления. Если вы измеряете образец, у которого имеется эффект контактного сопротивления, то задайте время измерения с установленного по умолчанию до максимального (10 мин).

Кроме того, сухие гранулярные вещества и порошки дают большое контактное сопротивление. Для измерения таких материалов всегда используйте либо зонд TR-1, либо SH-1.

3. **Не изгибайте щупы зондов.** В зонде с двумя щупами расстояние между ними является критичным для получения достоверных результатов. Изменение расстояния между ними на 1% приводит к 2% ошибке в значениях теплопроводности и объемной теплоемкости. В комплекте поставки имеется устройство для обеспечения правильной установки зонда в образец. Проверочный блок Delrin, включенный в комплект поставки, показывает правильное расстояние между щупами. Если щуп слегка изогнут, то он может быть слегка распрямлен, пока концы щупа не займут все расстояние в калибровочном блоке.

6. Техническое обслуживание

Чистка и уход за зондом

Щупы зонда сделаны из нержавеющей стали. В случае их загрязнения, протрите их влажной тряпкой. Никогда не сгибайте щупы. Если зонд был изогнут, не надо изгибать его обратно.

Смена батареек

Когда возникнет необходимость в замене батареи, то в верхнем левом углу экрана вы увидите характерный значок. KD2 Pro работает с 4 щелочными батарейками “AA”.

1. Снимите крышку с места, где находятся батарейки.
2. Вставьте новые батарейки. Убедитесь в их «правильном» расположении.
3. Обновите время и дату или с помощью меню Configuration в приборе KD2 Pro или с помощью ПО KD2 Pro Utility.

Устранение неполадок

ПРОБЛЕМА: Я получаю неверные или противоречивые результаты.

Решение: См. Раздел 5 руководства по эксплуатации.

ПРОБЛЕМА: Прибор не распознает подключенный зонд.

Решение: Убедитесь в качественном подключении между прибором и зондом, а также что никакой из коннекторов не сломан и не поврежден. Если прибор KD2 Pro все еще сообщает об ошибке, то зонд может быть сломан. Свяжитесь с поставщиком.

Проверка работоспособности зонда

Ваш прибор KD2 Pro поставляется с тремя видами проверочных материалов для зондов: прозрачный раствор глицерина для зонда KS-1, белый пластиковый цилиндр для зонда SH-1 и черный пластиковый цилиндр для зонда TR-1.

Стандарт глицерина имеет мембрану для помещения зонда KS-1 напрямую в раствор.

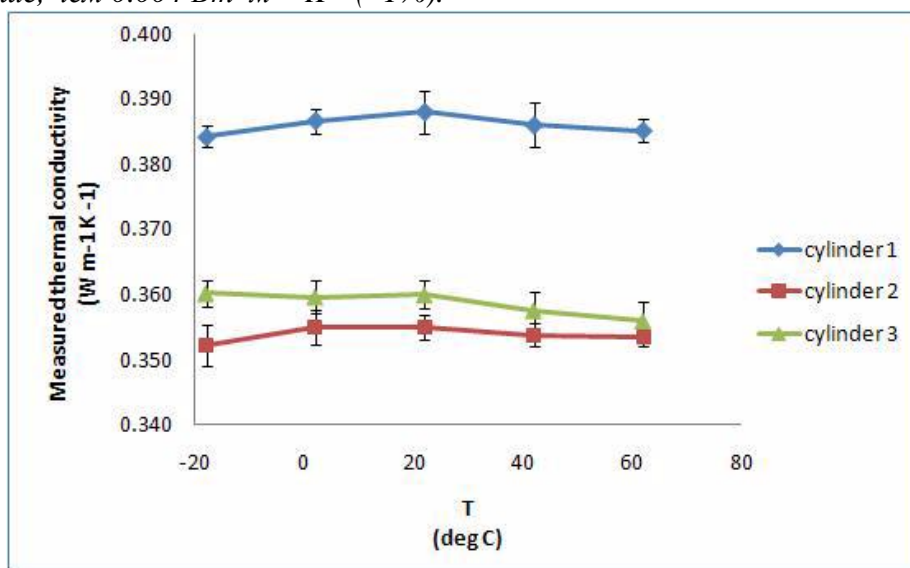
Примечание: При постоянном использовании мембрана может быть испорчена. Просто замените ее на новую.

Для проведения проверки полностью опустите щуп зонда в глицерин. Щуп должен располагаться вертикально. При этом желательно перевернуть пузырек с глицерином дном вверх, при этом все пузырьки, имеющиеся в глицерине, уйдут вверх от щупа. Щуп должен располагаться посередине пузырька, при этом не касаясь его стенок. До того как проводить измерения в глицерине, убедитесь, что в нем отсутствует температурный дрейф. Даже удержание пузырька в ваших руках, или напротив кондиционера, может повлиять на качество измерений. Лучше всего расположить щуп и пузырек в изотермической камере (например, изоляционная камера или охладитель), и дайте 15 минут для уравнивания. Теплопроводность глицерина равна 0.285 Вт/(м· К) при 20 °С.

Блок Delrin с двумя отверстиями применяется для контроля зонда с двумя щупами (SH-1). Зонд должен быть полностью помещен в два отверстия в блоке Delrin (просверленных предварительно), и уравновеситься в течение не менее 15 минут. Убедитесь, что нет температурного дрейфа. Даже удержание пузырька в ваших руках, или напротив кондиционера, может повлиять на качество измерений. Лучше всего расположить щуп и пузырек в изотермической камере (например, изоляционная камера или охладитель), и дайте 15 минут для уравновешивания. Блоки Delrin для каждого прибора имеют индивидуальные характеристики теплопроводности, поэтому в вашем Certificate of Quality Assurance вы найдете точные значения для объемной теплоемкости, теплопроводности, температуропроводности.

Контроль зонда TR-1 схож с контролем зонда SH-1. Поместите зонд в блок и проведите измерения, контролируя температурные изменения. Данные должны соответствовать указанным в вашем your Certificate of Quality Assurance.

По просьбам пользователей KD2, мы охарактеризовали температурные зависимости теплопроводности черного пластикового цилиндра для проверки TR-1. Измерения были проведены на трех пластиковых цилиндрах из трех различных материалов в температурном диапазоне -20 до 60 C (см. рисунок ниже). Были зафиксированы небольшие температурные изменения на любом из образцов -20 to 60 C значение никогда не было выше, чем $0.004 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ (~1%).



Теплопроводность трех различных проверочных черных цилиндров для TR-1 как функция температуры. Отклонение в ошибке составляет ±1 в пяти измерениях.

7. Теория KD2 Pro

Прибор KD2 Pro разработан специально для улучшения измерения теплофизических свойств материалов. Зонды являются относительно большими и прочными для работы с ними. Время нагрева задается как можно более коротким для уменьшения вероятности движения жидкости. Тепловой поток снижен для уменьшения вероятности свободной конвекции. Использование короткого времени нагрева и режима малого подвода тепла требует высокого разрешения температуры, а также специальных алгоритмов измерения. Разрешение прибора KD2 Pro составляет 0.001 C.

Прибор использует специальные алгоритмы для анализа измерений, полученных во время нагрева и охлаждения зонда. Также используются специальные алгоритмы для разделения эффектов теплового импульса при изменении температуры окружающей среды. Для зондов с одним щупом и двумя щупами используются различные алгоритмы, основанные на анализе линейного нагрева, представленного Carslaw и Jaeger (1959).

Алгоритм для зонда с двумя щупами

Тепло подводится к зондам в течение заданного времени, t_h . Конечные результаты соответствуют нелинейному уравнению:

$$T^* = b_0 t + b_1 \left\{ E_i \left(\frac{b_2}{t} \right) - E_i \left[\frac{b_2}{(t - t_h)} \right] \right\} \quad (1)$$

$$T^* = b_0 t + b_1 E_i \left(\frac{b_2}{t} \right)$$

где:

$$T^* = \frac{4\pi(T - T_0)}{q} \quad (2)$$

Здесь E_i – экспоненциальный интеграл (Abramowitz and Stegun, 1972), и b_0 , b_1 , b_2 – постоянные. T_0 – температура начала измерения и q – подводимое тепло. Первое уравнение применяется для первых секунд t_h , пока тепло подводится. Второе уравнение применяется, когда тепло не подается. Теплопроводность рассчитывается из:

$$k = \frac{1}{b_1} \quad (3)$$

Температуропроводность равна:

$$D = \frac{r^2}{4b_2} \quad (4)$$

Теплопроводность и температуропроводность найдены подстановкой данных. Действительные значения b_0 , b_1 и b_2 , те, которые снижают сумму квадратов ошибок между уравнениями и измерениями. Значения найдены с помощью метода нелинейных квадратов Marquardt (1963). Этот метод имеет проблемы при приближении к минимуму (пример с зондом с одним щупом является хорошим примером с трудностями расчетов), но для зонда с двумя щупами работает достаточно хорошо.

Алгоритм для зонда с одним щупом

Тепло подается к щупу в течение заданного времени t_h , температура контролируется в течение данного времени. А также времени равного t_h , после остановки нагрева.

Два типа зонда с разной длиной применяются при работе с прибором: зонд KS-1 1,2 мм в диаметре и 60 мм длиной, и зонд TR-1 2, 4 мм в диаметре и 100 мм длиной. Температура рассчитывается из:

$$T = m_0 + m_2 t + m_3 \ln t \quad (5)$$

m_0 – температура окружающей среды во время измерений, m_2 – величина температурного дрейфа, и m_3 - коэффициент наклона кривой температуры к логарифму температуры.

Во время охлаждения модель выглядит как:

$$T = m_1 + m_2 t + m_3 \ln \left[\frac{t}{(t - t_h)} \right] \quad (6)$$

Теплопроводность рассчитывается из:

$$k = \frac{q}{4\pi m_3} \quad (7)$$

Так как данные уравнения являются уравнениями длительными во времени, то мы используем лишь конечные 2/ 3 собранных данных, пренебрегая данными во время нагрева и охлаждения. Данный метод имеет несколько преимуществ. Первым является то, что контактное сопротивление чаще всего проявляется вначале измерения, поэтому анализируя более «дальние» измерения дает интересующие нас данные о теплопроводности. Другим преимуществом является то, что уравнения 5 и 6 могут быть решены с помощью линейного квадратного уравнения, давая четкие результаты.

Те же самые данные, отнесенные к нелинейному квадратному уравнению, могут давать разброс в данных результатов, в зависимости от начальной точки итерации (цикла), так как зонды с одним щупом вблизи локального минимума дают ошибку. Также расчет квадратного линейного уравнения является очень быстрым.

Приложение А

Таблица термических единиц

	Column 1: SI Unit	To convert Column 1 into Column 2, multiply by:	Column 2: English Unit	To convert Column 2 into Column 1, multiply by:
Heat (тепло)	Joule	0,000952	BTU	1054
heat	Joule	0,239	cal	4,186
heat flux density (плотность теплового потока)	W/m ²	0,000143	cal/(cm ² min)	698
thermal conductivity (теплопроводность)	W/(m·K)	0,578	BTU/(hr·ft °F)	1,73
thermal conductivity	W/(m·K)	6,93	BTU·in/ (hr·ft ² °F)	0,144
thermal resistivity (удельное тепловое сопротивление)	cm·°C/W	0,0173	ft·hr °F/ BTU	57,8
thermal resistivity	cm·°C/W	0,00144	ft ² hr·°F/ (BTU·in)	693
specific heat (объемная теплоемкость)	J/(kg·K)	2,39 x 10 ⁻⁴	BTU/(lb·°F)	4179
Diffusivity (температуропроводность)	mm ² /s	0,0388	ft ² /hr	25,794
diffusivity	m ² /s	0,1076	ft ² /s	9,29

Декларация соответствия

Применяется Директива Совета ЕС:	89/336/ЕЕС
Стандарты соответствия:	EN55022: 1987 EN500082-1: 1991
Адрес производителя:	Decagon Devices, Inc. 2365 NE Hopkins Ct. Pullman, Washington 99163 USA
Тип оборудования:	Измеритель термических свойств материалов
Модель номер:	KD2 Pro
Дата первого производства:	2006

Данным подтверждается, что измеритель термических свойств материалов KD2 Pro Thermal Properties Meter, произведенный Decagon Devices, Inc., расположенного в Pullman, Washington, USA (Пуллман, Вашингтон штат, США), удовлетворяет или превышает стандарты соответствия ЕС, описанных в Директиве Совета ЕС. Все инструменты, сделанные на заводе Decagon и относящаяся к ним документация, свободна для доступа и проверки.