

106-M-4-01.11.2012

## Струнный датчик давления

### Спрут 1.06

#### Руководство по эксплуатации

Редакция 4

## Аннотация

Настоящий документ является руководством по эксплуатации (далее — РЭ) струнного датчика давления Спрут 1.06, входящего в автоматизированную систему мониторинга конструкций (АСМК) «СИТИС: Спрут».

Руководство содержит описание датчика, принцип его работы, технические данные и другие сведения, необходимые для обеспечения правильной установки и эксплуатации.

## Авторское право

© ООО «СИТИС», 2011-2012 гг.

ООО «СИТИС» предоставляет право бесплатных печати, копирования, тиражирования и распространения этого документа в сети Интернет и локальных и корпоративных сетях обмена электронной информацией. Не допускается взимание платы за предоставление доступа к этому документу, за его копирование и печать. Не разрешается публикация этого документа любым другим способом без письменного согласия ООО «СИТИС».

## Оглавление

Аннотация .....	2
Авторское право.....	2
1. Описание датчика .....	4
1.1. Назначение датчика .....	4
1.2. Технические характеристики датчика .....	5
1.3. Комплектация датчика .....	6
1.4. Дополнительное оборудование и аксессуары .....	6
1.5. Принцип работы датчика .....	6
1.6. Влияние грунтовых вод .....	7
1.7. Влияние жесткости грунта .....	8
1.8. Маркировка датчика .....	9
1.9. Модификации датчика .....	10
2. Установка датчика .....	11
2.1. Проверка работоспособности датчика перед установкой .....	11
2.2. Установка датчика в почву .....	11
2.3. Установка датчика в насыпь.....	12
2.4. Установка датчика с использованием строительного раствора .....	13
2.5. Укладка и защита сигнального кабеля.....	15
2.6. Пример установки датчика в утеплитель кровли .....	16
3. Сбор показаний датчика .....	17
3.1. Считывающие устройства .....	17
3.2. Программный комплекс «СИТИС: Скат» .....	17
3.3. Визуализация показаний с помощью приложений «Скат Лайт», «Скат» и «Скат Про» .....	17
4. Работа с показаниями датчика .....	19
4.1. Вычисление давления. Нулевое показание .....	19
4.2. Вычисление давления с учетом температурных эффектов .....	19
4.3. Вычисление давления с учетом изменения атмосферного давления .....	20
4.4. Вычисление фактического давления .....	20
4.5. Преобразование единиц измерения .....	20
4.6. Пример расчета давления.....	20
5. Техническое обслуживание датчика .....	22
5.1. Эксплуатация .....	22
5.2. Гарантия.....	22
5.3. Хранение .....	22
5.4. Транспортирование .....	22
5.5. Утилизация.....	22
6. Термины и определения.....	23
7. Назначение выводов датчика .....	24
8. Приложение 1. Применение АСМК «СИТИС: Спрут» .....	25
9. Приложение 2. Структурная схема сети АСМК «СИТИС: Спрут» .....	27

## 1. Описание датчика

### 1.1. Назначение датчика

- 1.1.1. Струнный датчик давления Спрут 1.06 (далее — датчик давления) разработан для измерения полного давления в основаниях дамб, мостов, насыпей.
- 1.1.2. Применение датчика давления:
- 1.1.3. – контроль и анализ изменения напряжения в фундаментах во время строительства;
- 1.1.4. – измерение полного давления в земных насыпях, при взаимодействии двух разных материалов;
- 1.1.5. – измерение контактного давления в подпорных стенах, сваях и тоннелях;
- 1.1.6. – исследования для совершенствования проектирования и строительства насыпей, дамб, подземных работ;
- 1.1.7. – проведение верификации расчетных параметров и исследование влияния изменения проекта.
- 1.1.8. Показаниями датчика давления являются:
- 1.1.9. – частота колебания струны датчика, Гц;
- 1.1.10. – температура окружающей среды датчика, °С.
- 1.1.11. С помощью специализированного программного обеспечения «СИТИС: Скат», входящего в АСМК «СИТИС: Спрут», показания датчика давления преобразуются в показание давления  $P$  в «Па».



1.1.12.

1.1.13. Ключевые особенности датчика давления:

1.1.14.  — интерфейс датчиков, имеющих струнный выход. Частота на выходе датчика изменяется пропорционально измеряемой величине.

1.1.15.  — электронная метка SDT. Используется для идентификации и хранения информации об устройстве. В электронной метке устройства содержится тип, серийный номер и калибровочные данные, записываемые при его производстве. Метка построена на основе энергонезависимой памяти с возможностью многократной перезаписи данных, исключение составляет область памяти, содержащая UID, данная область доступна только для чтения. Метками SDT маркируются все датчики и даталоггеры АСМК «СИТИС: Спрут». Суммарный объем метки составляет 40 байт.

## 1.2. Технические характеристики датчика

1.2.1.	Наименование	Ед. изм.	Значение
1.2.2.	Тип датчика		струнный датчик давления
1.2.3.	Диапазон измерений: – #1.06.01 – #1.06.02	кПа кПа	0 – 350 0 – 750
1.2.4.	Точность: – #1.06.01 – #1.06.02	кПа кПа	±1,5 ±3,75
1.2.5.	Чувствительность: – #1.06.01 – #1.06.02	кПа кПа	0,075 0,1875
1.2.6.	Диапазон измерений цифрового термометра	°С	-40 – +85
1.2.7.	Точность цифрового термометра	°С	±2
1.2.8.	Чувствительность цифрового термометра	°С	0,1
1.2.9.	Выходной сигнал	Гц	частотный 2 400 – 3 500
1.2.10.	Минимальное время опроса	с	1
1.2.11.	Энергопотребление за цикл опроса	Вт	0,02
1.2.12.	Сопrotивление катушки при 25 °С	Ом	140 – 160
1.2.13.	Материал корпуса		нержавеющая сталь
1.2.14.	Степень защиты от внешних воздействий по ГОСТ 1.04254		IP67
1.2.15.	Габаритные размеры: – пластина – общая длина датчика	мм мм	Ø230 863
1.2.16.	Максимальная длина сигнального кабеля		60 м
1.2.17.	Условия эксплуатации: – температура окружающего воздуха – относительная влажность воздуха при 25 °С, не более	°С %	-30 – +80 80
1.2.18.	Средний срок службы	год	25
1.2.19.	Гарантийный срок	год	3

### 1.3. Комплектация датчика

- 1.3.1. Датчик давления поставляется в следующей комплектации:
- 1.3.2. – датчик давления в индивидуальной полиэтиленовой упаковке – 1 шт.;
- 1.3.3. – маркировочные таблички – 3 шт.;
- 1.3.4. – пластиковые стяжки – 5 шт.



1.3.5.

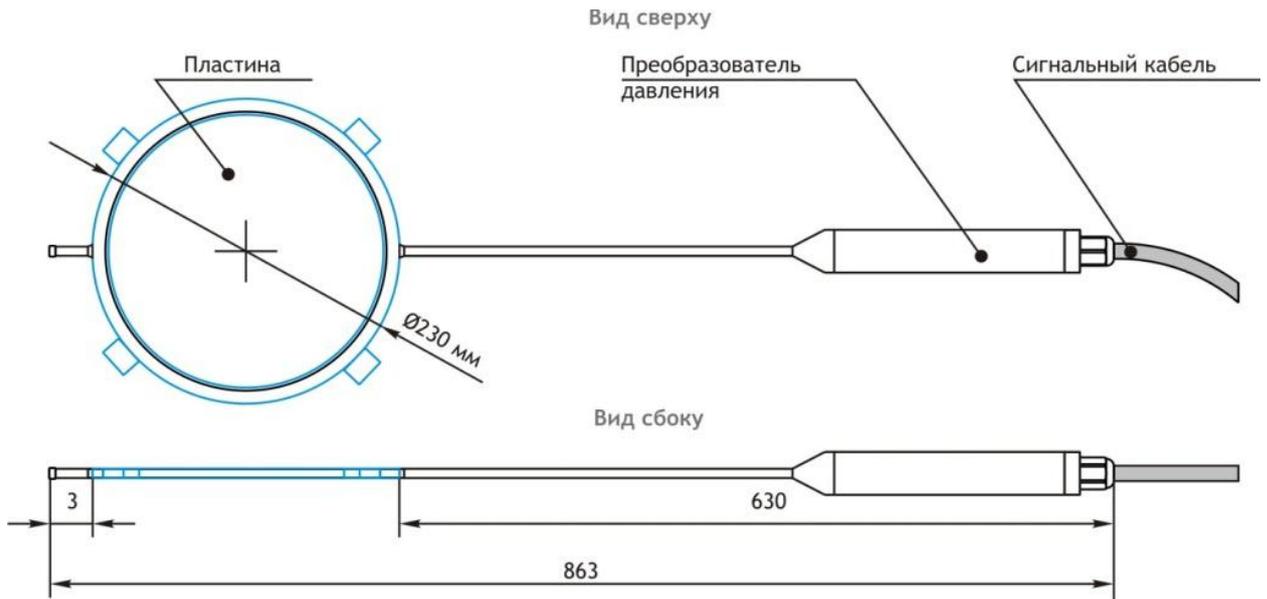
### 1.4. Дополнительное оборудование и аксессуары

- 1.4.1. При работе с датчиком давления можно использовать следующее оборудование:
- 1.4.2. – #2.01.01 даталоггер «Игла» для считывания показаний со струнных датчиков;
- 1.4.3. – #4.13.03 удлинитель сигнального кабеля струнных датчиков;
- 1.4.4. – #4.14.01 коммутационная коробка с монтажной панелью;
- 1.4.5. – #7 программный комплекс «СИТИС: Скат».

### 1.5. Принцип работы датчика

- 1.5.1. В основу работы струнного датчика давления положен принцип зависимости частоты колебаний струны от степени её натяжения. При изменении давления в конструкции, куда установлен датчик, изменяется натяжение струны. Частота колебаний струны датчика пропорциональна давлению в конструкции.
- 1.5.2. Корпус датчика давления состоит из двух пластин из нержавеющей стали, которые сварены между собой по периметру. Между ними находится узкая полость, заполненная рабочей жидкостью без воздуха — гидравлическим маслом. Полость связана с преобразователем давления — полый трубкой, внутри которой натянута высокопрочная стальная струна. Датчик давления оснащен сигнальным кабелем, соединяющим его со считывающим устройством, по которому передаются данные с датчика.
- 1.5.3. **Примечание.** Датчик давления #1.06 оснащен электронной меткой, которая позволяет в любой момент времени однозначно его идентифицировать. Электронная метка содержит уникальный цифровой идентификатор датчика, серийный номер, калибровочный коэффициент, а также свободную память, где могут быть сохранены нулевые показания или географические координаты установленного датчика. Для расчета компенсации эффектов теплового расширения (см. п. 4.2) в датчик встроен цифровой термометр, позволяющий измерять температуру окружающей среды. Для защиты электромагнитных катушек от прямых и не прямых ударов молний в корпусе датчика расположен триполярный плазменный разрядник.
- 1.5.4. Конструкция, куда установлен датчик давления, оказывает сжимающее воздействие на его пластины, тем самым оказывая давление на рабочую жидкость внутри полости. Изменение давления в рабочей жидкости передается в преобразователь давления, что влечет изменение напряжения и частоты колебаний струны датчика. Таким образом, изменение давления преобразуется в электрический сигнал, который передается по сигнальному кабелю в считывающее устройство.

1.5.5. Схема строения струнного датчика давления #1.06:



1.5.6.

1.5.7. Показанием датчика давления является частота колебаний его струны.

1.5.8. Так как квадрат частоты колебаний струны датчика пропорционален давлению, приложенному к пластинам датчика, то зная частоту колебаний, можно определить давление, оказываемое на конструкцию, в которой установлен датчик.

1.5.9. Частоту колебаний струны  $F$  датчика давления можно преобразовать в давление, оказываемое на конструкцию,  $P$  с помощью полиномиального или линейного преобразований:

1.5.10.  $P_{\text{полиномиальное}} = AF^4 10^{-6} + BF^2 10^{-3},$

1.5.11.  $P_{\text{линейное}} = GF^2 10^{-3},$

1.5.12. где  $P$  — давление, приложенное к конструкции, кПа;

1.5.13.  $F$  — частота колебаний струны датчика давления, Гц;

1.5.14.  $A$  — полиномиальный калибровочный коэффициент, кПа/Гц<sup>4</sup>;

1.5.15.  $B$  — полиномиальный калибровочный коэффициент, кПа/Гц<sup>2</sup>;

1.5.16.  $G$  — линейный калибровочный коэффициент, кПа/Гц<sup>2</sup>.

1.5.17. Значения калибровочных коэффициентов определяются в процессе индивидуальной калибровки каждого датчика давления. Калибровка выполняется при известном атмосферном давлении и температуре.

1.5.18. **Примечание.** Полиномиальное преобразование дает более точный результат, а линейное является более удобным для ручного расчета.

1.5.19. **Примечание.** Калибровочные коэффициенты  $A$ ,  $B$  и  $G$  записаны в электронную метку каждого датчика давления #1.06 и указаны в его калибровочном сертификате.

1.5.20. Таким образом, измеренная датчиком давления частота колебаний струны преобразуется в давление, оказываемое на конструкцию. Преобразование выполняется либо автоматически программным обеспечением «СИТИС: Скат», входящим в АСМК «СИТИС: Спрут», либо вручную пользователем. Подробнее о расчете давления и вычислении поправок см. п. 4 «Работа с показаниями датчика».

### 1.6. Влияние грунтовых вод

1.6.1. Датчик давления реагирует не только на давление грунта, но также на давление грунтовых вод. Поэтому при измерении давления грунта выделяют понятия: «полное давление» — давление грунтовых вод и грунта (земли или бетона); и «эффективное давление» — давление грунта.

1.6.2. Для определения эффективного давления необходимо одновременно в конструкцию с датчиком давления устанавливать пьезометр для измерения порового давления воды.

1.6.3. Эффективное давление  $P'$  вычисляется по формуле:

$$1.6.4. P' = P - \mu,$$

1.6.5. где  $P$  — полное давление;

1.6.6.  $\mu$  — давление грунтовых вод.

### 1.7. Влияние жесткости грунта

1.7.1. Если пластины датчика давления достаточно гибкие (то есть толщина мала по сравнению с диаметром), то в центре пластины эффект сварного края становится незначительным, и можно утверждать, что в центре датчика внешнее давление грунта уравнивается внутренним давлением рабочей жидкости.

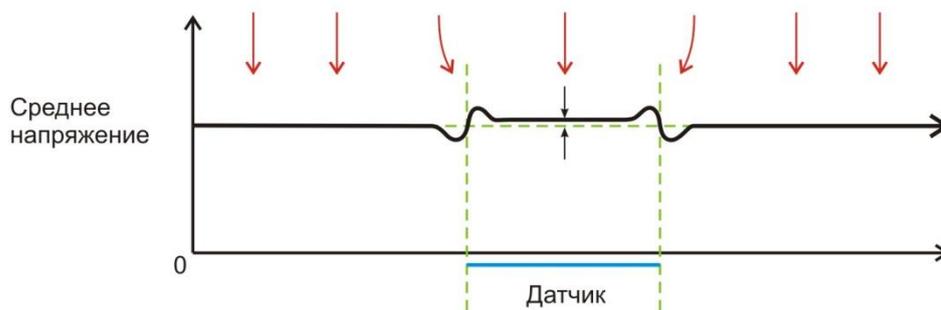
1.7.2. Данный принцип работает только когда отклонение пластин сведено к минимуму, поэтому важно, чтобы датчик давления был жестким. На практике это означает, что рабочая жидкость внутри датчика должна быть максимально несжимаемой.

1.7.3. Испытания, проведенные различными исследователями, показали, что введение тензочувствительного элемента в грунтовую массу будет изменять поле напряжения в зависимости от относительной жесткости датчика по сравнению с грунтом, а также в зависимости от коэффициента пропорциональности датчика (отношения ширины датчика к его толщине). Толстый датчик будет изменять напряжение больше, чем тонкий. Именно по этой причине тонкий жесткий датчик является наиболее оптимальным, а коэффициент пропорциональности должен быть в пределах от 1 до 20.

1.7.4. В идеале датчик должен иметь такую же жесткость (сжимаемость) как грунт. Но на практике этого сложно достичь.

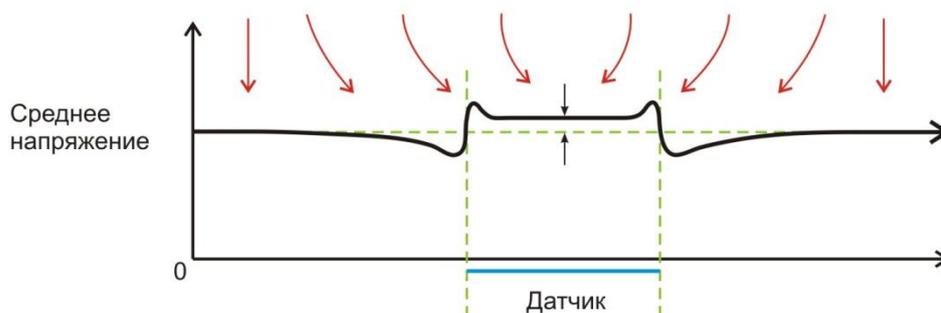
1.7.5. Если датчик более жесткий (менее сжимающийся), чем грунт, то он зарегистрирует неполное давление грунта, поскольку часть грунта непосредственно возле датчика будет «прикрыта» датчиком и не будет воспринимать полное давление грунта.

1.7.6. Возникает концентрация напряжения возле жесткого края датчика, в то время как в центре датчика напряжение лишь немного выше среднего напряжения почвы, то есть немного выше напряжения, которое бы было при отсутствии датчика.



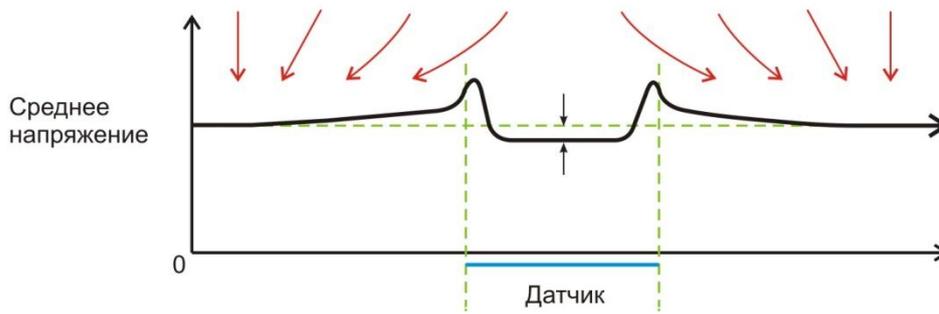
1.7.7. Перераспределение напряжения при использовании жесткого датчика давления в слабом грунте

1.7.8. В более сильном грунте «ненапряженная зона» вокруг края датчика оказывается больше и, отсюда, в центре датчика степень неполного учета среднего напряжения выше.



1.7.9. Перераспределение напряжения при использовании жесткого датчика давления в сильном грунте

- 1.7.10. В сильном грунте датчик может оказаться менее жестким (более сжимающимся), чем грунт, в этом случае датчик регистрирует излишнее среднее напряжение грунта, так как напряжения в грунте обычно напоминают форму моста вокруг датчика.



- 1.7.11. Перераспределение напряжения при использовании слабого датчика давления в сильном грунте

- 1.7.12. Испытания, проведенные с несколькими типами грунтов, установили, что показания датчика могут завышаться или занижаться до 15% от среднего напряжения грунта.

- 1.7.13. Следует также помнить о других факторах, влияющих на эффективность работы датчика давления, например: различные характеристики грунта в разных местах, из-за чего сложно получить данные о среднем напряжении ограниченным числом датчиков. Также, отклик датчика на окружающую обстановку существенно зависит от того, насколько близка жесткость, сжимаемость и степень сжатия грунта, который находится в непосредственном контакте с датчиком, к соответствующим показателям грунтовой массы в спокойном состоянии. В этом отношении следует уделять особое внимание методам установки.

- 1.7.14. При установке датчика давления могут потребоваться следующие приспособления и инвентарь:

1.7.15. – засыпной материал: песок, гравий, бетонитовые гранулы, цемент;

1.7.16. – оборудование для бурения скважины или выкапывания траншеи.

## 1.8. Маркировка датчика

- 1.8.1. На корпус датчика давления и сигнальный кабель прикреплены маркировочные таблички со следующей информацией: тип датчика, его серийный номер, штрихкодированная маркировка.

- 1.8.2. Струнный датчик давления имеет артикул #1.06.КК.С.мммм согласно принятому способу маркировки всех устройств АСМК «СИТИС: Спрут»: Г.ТТ.КК.С.мммм,

1.8.3. где Г — группа изделия («1» — датчик);

1.8.4. ТТ — тип изделия («06» — струнный датчик давления);

1.8.5. КК — код изделия;

1.8.6. С — серийность изделия (0 — стандартная комплектация, 1 — изменение стандартной комплектации, 2 — доработка стандартного изделия, 3 — сборка по заказанной спецификации, 4 — индивидуальная разработка);

1.8.7. мммм — модификация изделия (определяет тип разъема, длину кабеля).

- 1.8.8. Примеры маркировки.

Артикул	Описание
1.06.01.0.00001	Струнный датчик давления с диапазоном измерений 0-350 кПа и точностью $\pm 0,875$ кПа. Оснащен сигнальным кабелем длиной 3 м, свободный конец кабеля выполнен под винтовой зажим или пайку.
1.06.02.0.00002	Струнный датчик давления с диапазоном измерений 0-750 кПа и точностью $\pm 1,875$ кПа. Оснащен сигнальным кабелем длиной 3 м, свободный конец кабеля имеет разъем байонетного типа FQ14.

## 1.9. Модификации датчика

1.9.1. Предусмотрено два типа выполнения свободного конца сигнального кабеля датчика давления:

1.9.2. – под винтовой зажим или пайку;

1.9.3. – байонетный разъем.

1.9.4.

Внешний вид	Описание
	Свободный конец сигнального кабеля, предназначенный под винтовой зажим или пайку.
	Свободный конец сигнального кабеля с разъемом байонетного типа FQ14. Разъем выполнен из неэкранированного металла, контакты с позолотой под пайку. Температурный диапазон от -55°C до +100°C; класс защиты от внешних воздействий IP67. В комплект входит заглушка, обеспечивающая защиту разъема на этапе монтажа.

1.9.5.

1.9.6.

## 2. Установка датчика

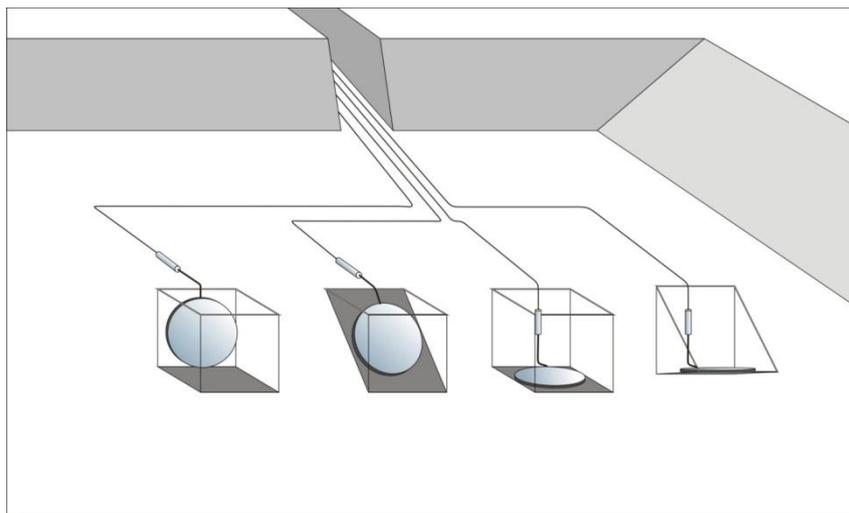
### 2.1. Проверка работоспособности датчика перед установкой

- 2.1.1. Перед установкой датчика нужно проверить его работоспособность. Проверку следует проводить в окружающей среде, близкой к нормальным климатическим условиям по ГОСТ 15150.
- 2.1.2. Последовательность действий при предварительной проверке работоспособности датчика:
- 2.1.3. – проверить отсутствие на корпусе датчика, сигнальном кабеле и присоединительных контактах механических повреждений, следов окисла, ржавчины или загрязнений;
- 2.1.4. – измерить сопротивление электромагнитной катушки с помощью цифрового мультиметра между красными и черными проводами сигнального кабеля, оно должно находиться в диапазоне 130–200 Ом без учета сопротивления кабеля (для кабеля с сечением жилы 0,3 мм<sup>2</sup> / 22 AWG ориентировочное сопротивление 50 Ом/км, или 100 Ом/км с учетом обоих направлений);
- 2.1.5. – переключить мультиметр в режим проверки диода. Подключить положительную клемму прибора к белому проводу сигнального кабеля, отрицательную клемму — к синему проводу, убедиться в наличии прямого падения напряжения в данной полярности (показания мультиметра должны быть в диапазоне 500–800 мВ); сменить полярность и убедиться в отсутствии прямого падения напряжения в данной полярности. Подключить положительную клемму прибора к белому проводу сигнального кабеля, отрицательную клемму — к зеленому проводу, убедиться в наличии прямого падения напряжения в данной полярности (показания мультиметра должны быть в диапазоне 500–800 мВ); сменить полярность и убедиться в отсутствии прямого падения напряжения в данной полярности;
- 2.1.6. – переключить мультиметр в режим проверки короткого замыкания и убедиться в отсутствии электрической связи между зеленым и синим проводами сигнального кабеля;
- 2.1.7. – проверить, что сопротивление между любыми проводами и оплеткой сигнального кабеля составляет не менее 10 МОм;
- 2.1.8. – подключить датчик к считывающему устройству, запустить обмен данными, убедиться в том, что происходит нормальное, без сбоев, считывание уникального цифрового идентификатора датчика. Проверить соответствие температуры, измеренной датчиком, температуре окружающей среды. Значение частоты должно быть равно примерно 3 500 Гц (что соответствует значению давления порядка 10<sup>5</sup> Па);
- 2.1.9. – надавить на чувствительную сторону пластины датчика, при этом показания датчика должны измениться: частота уменьшается при увеличении давления.
- 2.1.10. **Примечание.** Для просмотра данных, считанных с датчика, следует воспользоваться программным обеспечением «СИТИС: Скат» (см. п. 3 «Сбор показаний датчика»).
- 2.1.11. Если при проверке работоспособности датчика в его работе возникли сбои, то следует обратиться в службу технической поддержки ООО «СИТИС» (см. п.5.2 «Гарантия»).

### 2.2. Установка датчика в почву

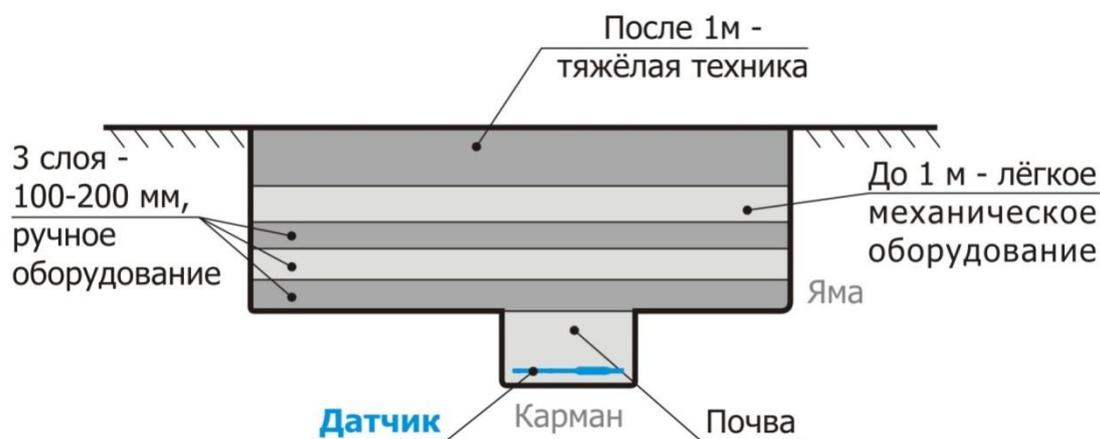
- 2.2.1. Последовательность действий при установке датчика давления в почву:
- 2.2.2. – выкопать основную яму глубиной 1 м. Дно ямы нужно выровнять и утрамбовать;
- 2.2.3. – выкопать траншею для сигнальных кабелей;
- 2.2.4. – аккуратно выкопать карман для датчика. Размеры кармана должны быть примерно в два раза больше размеров датчика. Из него следует удалить все камни. Та поверхность кармана, на которую предполагается укладывать датчик, должна быть плоской, чтобы он оказался сориентирован в нужном направлении. Расстояние между карманами для датчиков должно быть не менее 1 м;

- 2.2.5. – поместить датчик в карман и с помощью считывающего устройства проверить, что показания считываются. Закопать карман, по возможности используя выкопанную почву (без камней и при той же влажности);



2.2.6.

- 2.2.7. – засыпать основную яму выкопанной почвой с неизменной влажностью: первые три слоя толщиной от 100–200 мм должны быть созданы и утрамбованы ручными инструментами, только после их укладки можно использовать легкое механическое оборудование. Засыпать основную яму посредством тяжелой техники можно только после того, как над датчиками окажется слой почвы толщиной не менее 1 м.

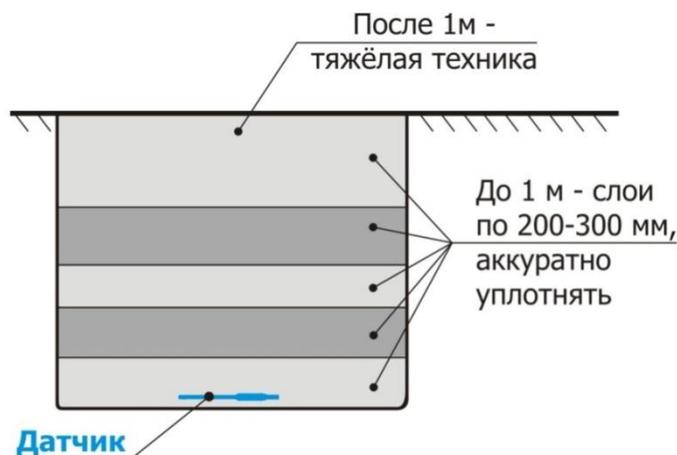


2.2.8.

### 2.3. Установка датчика в насыпь

- 2.3.1. Датчик давления, как правило, устанавливается горизонтально на поверхностях для измерения вертикального напряжения. Однако его можно устанавливать внутри насыпи для измерения напряжения в других направлениях. Например, датчик, расположенный на плоской вертикальной поверхности будет измерять горизонтальное напряжение в направлении, перпендикулярном пластине датчика. Иногда датчики размещаются под углом 45° к горизонтали.
- 2.3.2. При установке датчика в насыпь крупные и острые камни не должны вступать в контакт с датчиком, чтобы не повреждать его пластины. В местах расположения грубого материала следует сделать слой мелкого материала вокруг датчика и затем уже грубый, с постепенным увеличением калибра.

- 2.3.3. Датчик нужно засыпать материалом последовательными слоями толщиной не менее 200 мм, при этом каждый слой следует хорошо уплотнять. После того, как общая высота слоя материала над датчиком станет равной 1 м, можно использовать вибрационный каток.

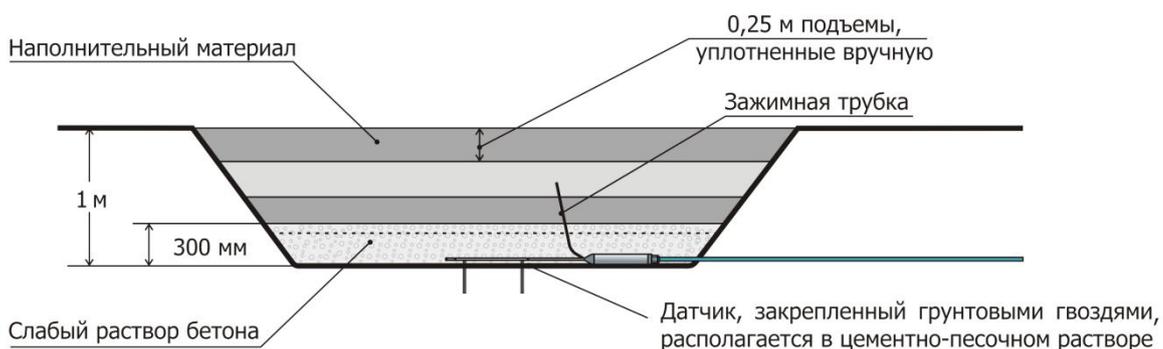


- 2.3.4.

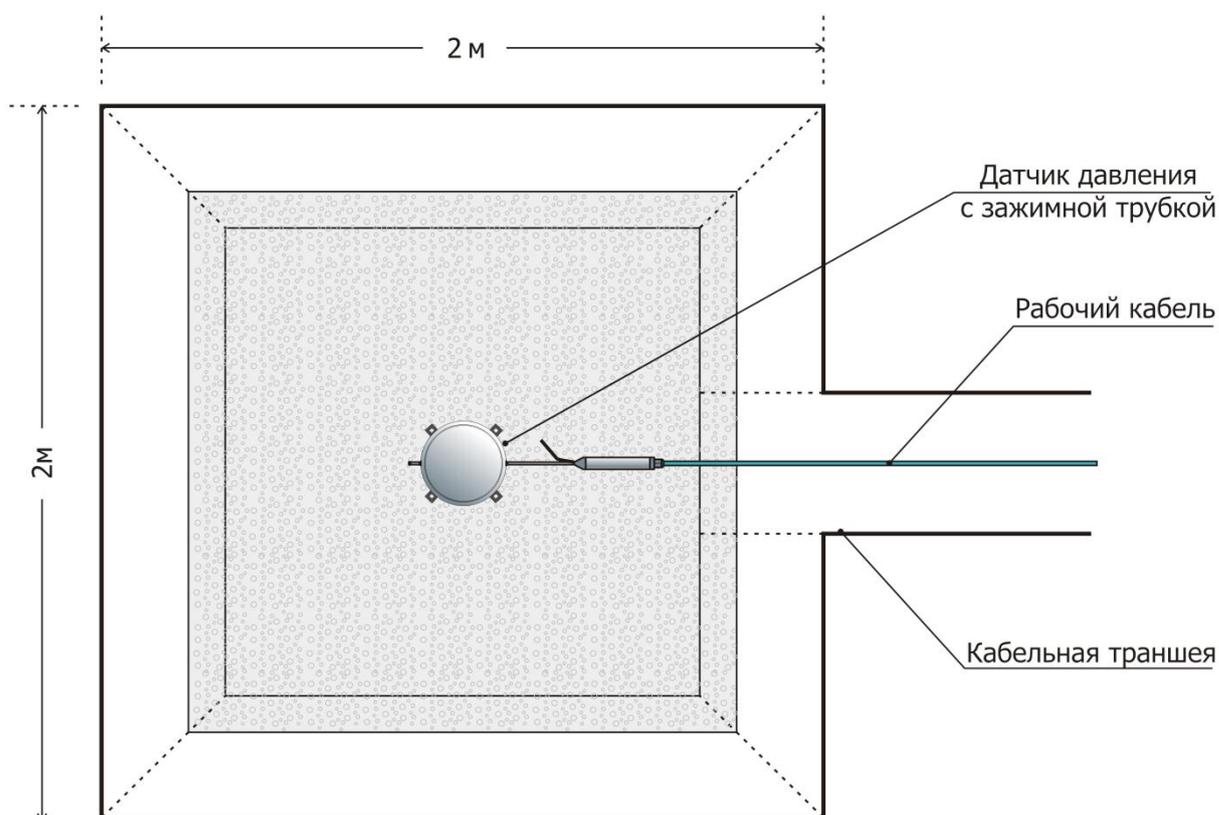
#### 2.4. Установка датчика с использованием строительного раствора

- 2.4.1. Опыт показал, что попытки измерить давление грунта в насыпях очень часто заканчиваются неудачей. Проблема носит двойной характер: во-первых, распределение напряжения в насыпи может быть неоднородным по причине различных свойств грунта и изменяющейся степени уплотнения грунта. Таким образом, измеренное в одном месте напряжение грунта может быть нехарактерно для других мест. Во-вторых, датчик, установленный непосредственно в насыпь, может создать вокруг себя особую зону, в которой может присутствовать другой, более мелкозернистый материал с меньшей степенью уплотнения. Также материал вокруг датчика может быть плохо уплотнен с целью избежать его повреждения.
- 2.4.2. В земляной насыпи эта зона слабого уплотнения не будет представлять проблемы, так как земля, располагающаяся над датчиком, может просто осесть вниз, заполнить поры и объединиться с остальной частью земли. Однако, под давлением дождевой воды и вибраций, любые пространства в почве, контактирующей с датчиком, могут увеличиться в объеме, и датчик может оказаться вне контакта с грунтом. В такой ситуации внутреннее грунтовое напряжение наблюдается вокруг датчика, а не на нем. Датчик здесь будет фиксировать очень небольшое давление, которое не будет изменяться при увеличении нагрузки. На практике подобные ситуации случаются часто.
- 2.4.3. Самый лучший способ избежать данной проблемы — установить датчик в тонкий слой строительного раствора.
- 2.4.4. Данный метод основан на похожей технике, описанной в п. 2.3. Установка датчиков начинается тогда, когда высота насыпи достигает одного метра над уровнем измерения.

- 2.4.5. Последовательность действий при установке датчика давления с использованием строительного раствора:
- 2.4.6. – выкопать кабельную траншею и карман для датчика глубиной 1 м. Стенки кармана должны быть наклонены под углом 45° к горизонтали;



2.4.7.



2.4.8.

- 2.4.9. – расположить датчик на тонком слое безусадочного раствора цемента и песка и закрепить его в этом положении грунтовыми гвоздями;
- 2.4.10. – залить карман слабым строительным раствором на высоту 300 мм последовательными слоями по 100 мм. Каждый слой уплотнить виброуплотнителем;
- 2.4.11. – через 24 ч герметизировать датчик с помощью зажимных трубок до тех пор, пока давление, считываемое с датчика, не начнет изменяться;
- 2.4.12. – засыпать забетонированный датчик и кабельную траншею слоями по 250 мм тем же материалом, из которого состоит насыпь, при помощи вибрационной трамбовки. После этого можно продолжить засыпание и уплотнение насыпи по стандартной строительной схеме.
- 2.4.13. Группы датчиков давления, расположенные по вышеуказанной методике, могут быть установлены либо в траншеи, ниже промежуточного уклона насыпи или на уклоны выше промежуточного уклона насыпи. В плотинах, например, обычно удобно устанавливать датчики в траншеи в непроницаемое ядро плотины, на откосы в зонах расположения фильтров и в уплотненные зоны засыпки. В земляных насыпях обычно удобно устанавливать датчики в траншеи, тем самым позволяя достичь нужной степени уплотнения засыпного

материала без повреждения датчиков или сигнальных кабелей. В процессе уплотнения следует проводить регулярные считывания показаний датчиков для обеспечения их корректного функционирования.

- 2.4.14. Поскольку датчики измеряют полное напряжение, то для измерения эффективного, а не водяного давления, возле него должен быть установлен пьезометр.
- 2.4.15. **Внимание.** В процессе вдавливания датчика в грунт возможны избытки давления за пределами шкалы измерительного прибора. Это может вызвать смещение нулевой отметки или необратимое повреждение датчика. Во избежание этого в процессе вдавливания постоянно следует снимать показания. Как только давление приблизится к отметке, равной 150% от предела шкалы, вдавливание следует прекратить и дождаться нормализации шкалы показаний.

## 2.5. Укладка и защита сигнального кабеля

- 2.5.1. Укладка сигнального кабеля очень важная часть установки датчика, так как при его повреждении станет невозможным считывание показаний датчика давления. Аккуратная укладка особенно важна, так как датчик после установки становится недоступен для технического обслуживания.
- 2.5.2. При укладке сигнального кабеля он должен быть:
- 2.5.3. – защищен от повреждений острыми камнями в процессе установки, взрывных операций и т.п.;
- 2.5.4. – защищен от повреждений уплотнительным оборудованием;
- 2.5.5. – при укладке в траншею — уложен зигзагом, чтобы избежать растяжения.
- 2.5.6. В насыпях сигнальный кабель может быть помещен в защитный слой песка или мелкого засыпного материала. Типичный монтаж может, например, включать в себя расположение ряда сигнальных кабелей на заранее подготовленный слой, состоящий из уплотненного материала толщиной не менее 200 мм. С целью сведения к минимуму вмешательства в строительный процесс подготовленный слой может быть расположен либо в траншею или на открытой наклонной плоскости.
- 2.5.7. В плотинах из скалистых пород с земляными ядрами удобно проводить монтаж сигнального кабеля в траншеях в земляных слоях, в зонах фильтров грубой и тонкой очистки и зонах закладки пустой породы.
- 2.5.8. Сигнальные кабели датчиков должны располагаться друг от друга на расстоянии не менее 12 мм и на расстоянии 150 мм от края подготовленного слоя. В случае, когда сигнальные кабели пересекаются или необходим монтаж нескольких слоев кабелей, между ними следует обеспечить вертикальный интервал посредством вручную уплотненного песка высотой не менее 50 мм.
- 2.5.9. Для предотвращения движения воды вдоль сигнального кабеля (особенно это актуально, если датчики давления установлены в дамбах и плотинах) можно создавать бентонитовые пробки в качестве гидроуплотнений, размещая их с определенным интервалом.
- 2.5.10. Сигнальный кабель должен быть смонтирован таким образом, чтобы источники электрического воздействия (линии электропередачи, генераторы, двигатели, трансформаторы, сварочные аппараты и т.п.) были максимально удалены от него, так как на работу сигнального кабеля могут влиять их помехи.

## 2.6. Пример установки датчика в утеплитель кровли

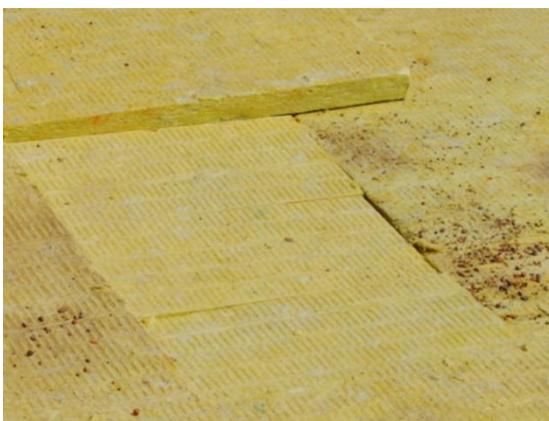
2.6.1. Для контроля величины снеговой нагрузки на фермы на кровле установлены датчики давления.



2.6.2.



2.6.3.



2.6.4.

### 3. Сбор показаний датчика

#### 3.1. Считывающие устройства

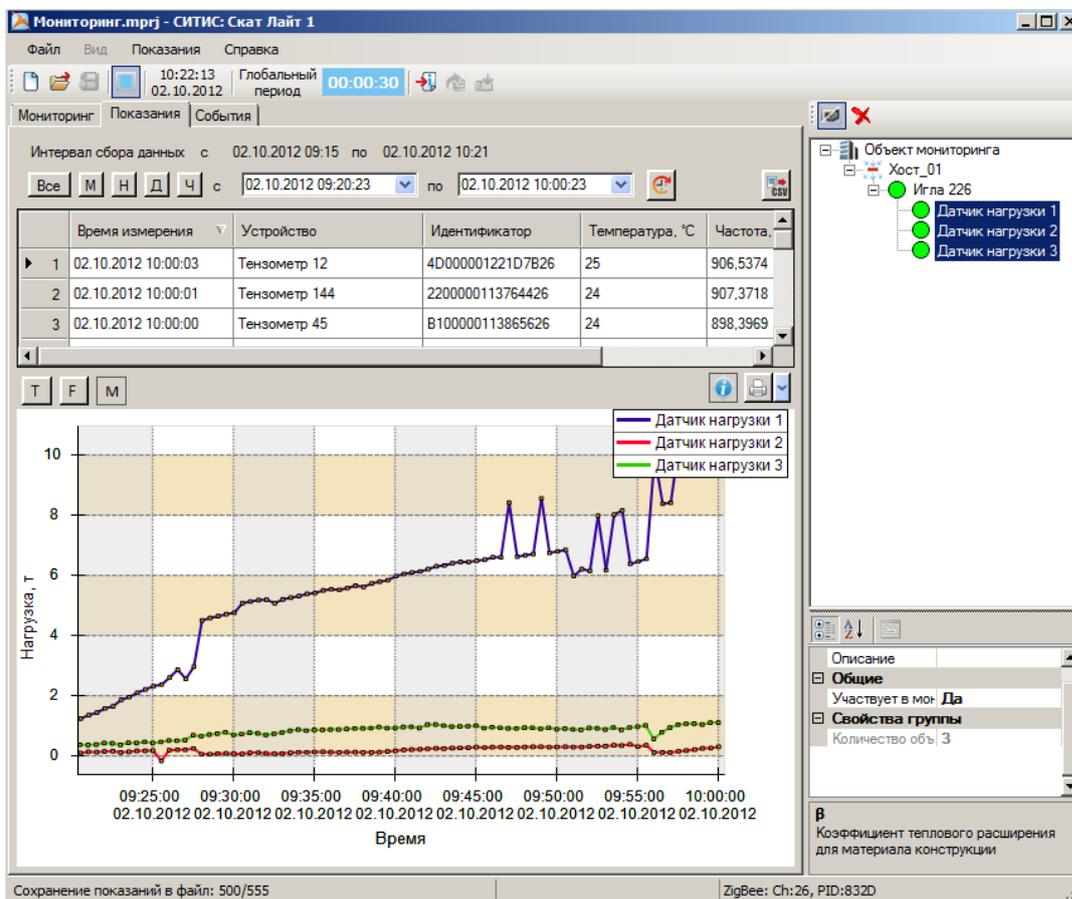
- 3.1.1. Для считывания показаний датчика можно использовать даталоггер Игла #2.01.01.
- 3.1.2. Даталоггер предназначен для считывания, обработки, хранения и передачи показаний струнных датчиков. В зависимости от выбранного режима работы даталоггер позволяет организовать автоматизированную систему как непрерывного, так и периодического мониторинга.

#### 3.2. Программный комплекс «СИТИС: Скат»

- 3.2.1. Программный комплекс «СИТИС: Скат» предназначен для организации работы АСМК «СИТИС: Спрут».
- 3.2.2. Основные задачи, решаемые программным комплексом:
- 3.2.3. – управление режимами работы датчиков и даталоггеров сети АСМК;
- 3.2.4. – сбор показаний датчиков с даталоггеров, в том числе в режиме реального времени;
- 3.2.5. – хранение и визуализация данных при непрерывном и периодическом мониторинге;
- 3.2.6. – создание отчетов;
- 3.2.7. – формирование оповещений об авариях в работе АСМК: превышение показаний пределов допустимых зон значений, выход из строя и т.д.

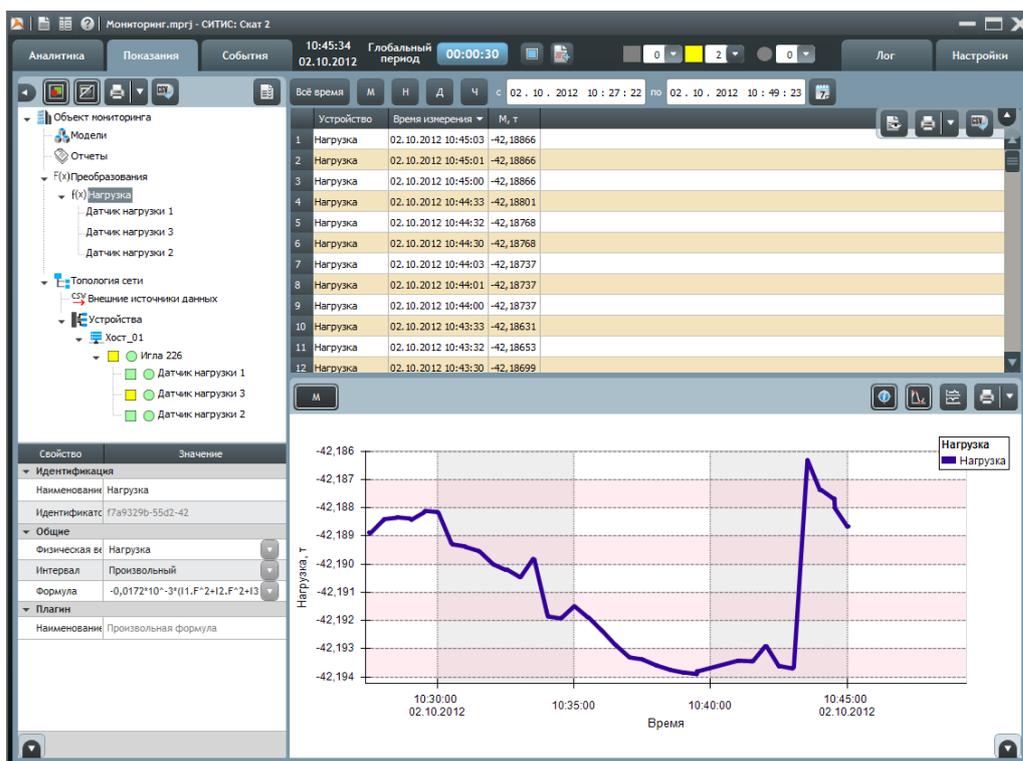
#### 3.3. Визуализация показаний с помощью приложений «Скат Лайт», «Скат» и «Скат Про»

- 3.3.1. Просмотреть показания датчика можно с помощью приложений «Скат Лайт», «Скат» и «Скат Про», установленных на персональном компьютере.
- 3.3.2. **«Скат Лайт».** Для просмотра показаний датчика с помощью приложения «Скат Лайт» или «Скат» достаточно иметь персональный компьютер, на котором установлено данное программное обеспечение, и даталоггер.
- 3.3.3. Приложения «Скат Лайт» и «Скат» могут отображать показания датчика при непрерывном мониторинге (то есть в режиме реального времени), так и накопленные во встроенной памяти даталоггера при периодическом мониторинге (в этом случае данные нужно предварительно считать из памяти даталоггера).



3.3.4.

График и таблица показаний в приложении «Скат Лайт»



3.3.5.

График и таблица показаний в приложении «Скат»

3.3.6.

**«Скат Про».** Интерфейс приложения «Скат Про» аналогичен интерфейсу приложения «Скат». Приложение предназначено для организации многопользовательской системы непрерывного мониторинга, при котором показания датчика сохраняются в базу данных, поэтому для его использования требуется хост-контроллер «Коралл» или его программный аналог — приложение «Скат Хост».

## 4. Работа с показаниями датчика

### 4.1. Вычисление давления. Нулевое показание

- 4.1.1. Датчик давления, установленный в конструкцию, измеряет значение частоты колебаний струны, которое нужно преобразовать с помощью формулы 1.5.10 или 1.5.11 в значение давления, оказываемое на конструкцию.
- 4.1.2. **Примечание.** Преобразование значения частоты колебаний струны датчика в значение давления, оказываемое на конструкцию, выполняется либо посредством «ручного» расчета, либо автоматически с помощью специализированного программного обеспечения «СИТИС: Скат», входящего в АСМК «СИТИС: Спрут» (см. п. 3.2.1).
- 4.1.3. Так как показание давления, полученное с помощью струнного датчика давления при отсутствии нагрузки, не равно нулю, а изменение нагрузки на конструкцию нужно наблюдать относительно ее состояния без нагрузки, то необходимо привести шкалу давления к нулю.
- 4.1.4. Приведение шкалы давления к нулю выполняется с помощью нулевых показаний датчика.
- 4.1.5. **Нулевое показание** — это показание датчика при отсутствии на него внешнего давления (за исключением атмосферного). Нулевые показания колебаний струны датчика  $F_0$  и температуры  $T_0$  нужно снимать в его рабочей позиции, но до момента его нагружения (засыпания грунтом, заливки бетоном и т.п.).
- 4.1.6. Приведение шкалы давления к нулю выполняется следующим образом:
- 4.1.7. – нулевое показание давления принять за нуль;
- 4.1.8. – преобразовать каждое последующее показание давления, вычитая из него нулевое показание давления.
- 4.1.9. Таким образом, давление на конструкцию с учетом сдвига шкалы  $\Delta P$  вычисляется по формуле:
- 4.1.10. 
$$\Delta P = P - P_0,$$
- 4.1.11. где  $P$  — значение давления, измеренное датчиком давления;
- 4.1.12.  $P_0$  — нулевое показание давления.
- 4.1.13. **Примечание.** С помощью программного комплекса «СИТИС: Скат» можно записать нулевые показания датчика в его электронную метку.

### 4.2. Вычисление давления с учетом температурных эффектов

- 4.2.1. Обычно датчик давления устанавливается в среде с постоянной температурой и не требуется учитывать поправку на ее изменение
- 4.2.2. Если же датчик устанавливается в среде, подверженной изменениям температуры, необходимо учесть поправку на воздействие температур по следующей формуле:
- 4.2.3. 
$$P_T = \alpha(T - T_0),$$
- 4.2.4. где  $P_T$  — поправка давления на изменение температуры, Па;
- 4.2.5.  $T$  — показание температуры, °С;
- 4.2.6.  $T_0$  — нулевое показание температуры, °С;
- 4.2.7.  $\alpha$  — коэффициент теплового расширения рабочей жидкости, кПа/°С.
- 4.2.8. **Примечание.** Температурный коэффициент теплового расширения рабочей жидкости  $\alpha$  сохранен в электронной метке каждого струнного датчика давления #1.06 и приведен в его калибровочном сертификате.
- 4.2.9. **Примечание.** Следует учитывать, что данная корректировка температуры применима только к датчику давления, а не ко всему окружающему датчик пространству, с грунтом или бетоном, каждая часть которого имеет свой собственный коэффициент температурного расширения.
- 4.2.10. Если датчик установлен на большой глубине, то измерение температурного эффекта является нецелесообразным, поскольку его влияние становится малозаметным из-за того, что температура остается относительно стабильной. Но в тех местах, где температура варьируется, данный эффект может быть значительным.

### 4.3. Вычисление давления с учетом изменения атмосферного давления

4.3.1. Как правило, изменение атмосферного давления в процессе мониторинга невелико и введение поправки обычно не требуется. Если же учет изменения атмосферного давления важен для каких-то конкретных задач, то поправка определяется следующим образом:

4.3.2.  $P_B = B - B_0$ ,

4.3.3. где  $P_B$  — поправка на изменение атмосферного давления, Па;

4.3.4.  $B$  — атмосферное давление, Па;

4.3.5.  $B_0$  — атмосферное давление в момент снятия нулевого показания, Па.

### 4.4. Вычисление фактического давления

4.4.1. Фактическое давление — значение давления, испытываемое конструкцией в результате внешнего воздействия.

4.4.2. Фактическое давление  $P_\Sigma$ , испытываемое конструкцией, с учетом поправок на измерение температуры и барометрического давления, рассчитывается по следующей формуле:

4.4.3.  $P_\Sigma = P + P_T - P_B$ ,

4.4.4. где  $P$  — значение давления, полученное с помощью датчика давления, Па;

4.4.5.  $P_T$  — поправка давления на изменение температуры, Па;

4.4.6.  $P_B$  — поправка на изменение атмосферного давления, Па.

### 4.5. Преобразование единиц измерения

4.5.1. В формулах, приведенных в настоящем документе, давление измеряется в *Паскалях*. Для получения значения давления в других единицах измерения можно воспользоваться следующей таблицей.

	Паскаль, Па	Бар, бар	Техническая атмосфера, ат, кгс/см <sup>2</sup>	Физическая атмосфера, атм	Миллиметр ртутного столба, мм.рт.ст.	Метр водяного столба, м.вод.ст.
1 Па	1 Н/м <sup>2</sup>	10 <sup>-5</sup>	10,197×10 <sup>-6</sup>	9,8692×10 <sup>-6</sup>	7,5006×10 <sup>-3</sup>	1,0197×10 <sup>-4</sup>
1 бар	10 <sup>5</sup>	1×10 <sup>6</sup> дин/см <sup>2</sup>	1,0197	0,98692	750,06	10,197
1 ат	98066,5	0,980665	1 кгс/см <sup>2</sup>	0,96784	735,56	10
1 атм	101325	1,01325	1,033	1 атм	760	10,33
1 мм рт.ст.	133,322	1,3332×10 <sup>-3</sup>	1,3595×10 <sup>-3</sup>	1,3158×10 <sup>-3</sup>	1 мм рт.ст.	13,595×10 <sup>-3</sup>
1 м вод.ст.	9806,65	9,80665×10 <sup>-2</sup>	0,1	0,096784	73,556	1 м вод.ст.

### 4.6. Пример расчета давления

4.6.1. Далее приведен пример расчета давления с приведением шкалы к нулю и учетом эффекта изменения температуры и атмосферного давления.

4.6.2. Пусть в момент времени  $t_0$  датчиком давления, установленным в конструкцию, измерены нулевые показания (в отсутствии нагрузки) частоты  $F_0$ , температуры  $T_0$  и атмосферного давления  $B_0$ . А в момент времени  $t$ , когда на конструкцию действует нагрузка, датчиком давления измерены показания частоты  $F$ , температуры  $T$  и атмосферного давления  $B$ .

$t_0$ 15.09.2011 15:40:00	$t$ 20.09.2011 11:10:00
$F_0 = 3303,51$ Гц	$F = 3286,88$ Гц
$T_0 = 25,81$ °C	$T = 26,22$ °C

$B_0 = 760$ мм рт.ст.	$B = 762$ мм рт.ст.
-----------------------	---------------------

4.6.7. Также известны:

4.6.8. коэффициент теплового расширения рабочей жидкости  $\alpha = -0,43$  кПа/°С;

4.6.9. калибровочные коэффициенты  $A = 1,97 \cdot 10^{-8}$  кПа/Гц<sup>4</sup>,  $B = -9,66 \cdot 10^{-2}$  кПа/Гц<sup>2</sup> и  $G = -9,63 \cdot 10^{-2}$  кПа/Гц<sup>2</sup>.

4.6.10. Тогда:

4.6.11. – давление  $P_0$ , соответствующее нулевым показаниям датчика, равно:

$$4.6.12. P_{0 \text{ полиномиальное}} = AF_0^4 10^{-6} + BF_0^2 10^{-3} =$$

$$4.6.13. = 1,97 \cdot 10^{-8} \cdot 3303,51^4 \cdot 10^{-6} - 9,66 \cdot 10^{-2} \cdot 3303,51^2 \cdot 10^{-3} = -1051,87 \text{ кПа};$$

$$4.6.14. P_{0 \text{ линейное}} = Gf_0^2 10^{-3} = -9,63 \cdot 10^{-2} \cdot 3303,51^2 \cdot 10^{-3} = -1050,9 \text{ кПа};$$

4.6.15. – давление  $P$ , соответствующее показаниям датчика, равно:

$$4.6.16. P_{\text{полиномиальное}} = Af^4 10^{-6} + Bf^2 10^{-3} =$$

$$4.6.17. = 1,97 \cdot 10^{-8} \cdot 3286,88^4 \cdot 10^{-6} - 9,66 \cdot 10^{-2} \cdot 3286,88^2 \cdot 10^{-3} = -1041,33 \text{ кПа};$$

$$4.6.18. P_{\text{линейное}} = Gf^2 10^{-3} = -9,63 \cdot 10^{-2} \cdot 3286,88^2 \cdot 10^{-3} = -1040,38 \text{ кПа};$$

4.6.19. – давление  $\Delta P$ , оказываемое на конструкцию, в результате приведения шкалы к нулю равно:

$$4.6.20. \Delta P_{\text{полиномиальное}} = P_{\text{полиномиальное}} - P_{0 \text{ полиномиальное}} =$$

$$4.6.21. = -1041,33 - (-1051,87) = 10,54 \text{ кПа};$$

$$4.6.22. \Delta P_{\text{линейное}} = P_{\text{линейное}} - P_{0 \text{ линейное}} =$$

$$4.6.23. = -1040,38 - (-1050,9) = 10,52 \text{ кПа};$$

4.6.24. – давление  $P_T$ , оказываемое на конструкцию, вследствие изменения температуры равно:

$$4.6.25. P_T = K(T - T_0) = -0,43 \cdot (26,22 - 25,81) = -0,18 \text{ кПа};$$

4.6.26. – давление  $P_B$ , оказываемого на конструкцию, вследствие изменения атмосферного давления равно:

$$4.6.27. P_B = B - B_0 = 762 - 760 = 2 \text{ мм рт.ст.} = 0,27 \text{ кПа};$$

4.6.28. – фактическое давление  $P_\Sigma$ , оказываемое на конструкцию, с учетом изменения температуры и атмосферного давления равно:

$$4.6.29. P_{\Sigma \text{ полиномиальное}} = \Delta P_{\text{полиномиальное}} + P_T - P_B =$$

$$4.6.30. = 10,54 - 0,18 - 0,27 = 10,09 \text{ кПа};$$

$$4.6.31. P_{\Sigma \text{ линейное}} = \Delta P_{\text{линейное}} + P_T - P_B = 10,52 - 0,18 - 0,27 = 10,07 \text{ кПа}.$$

## 5. Техническое обслуживание датчика

### 5.1. Эксплуатация

- 5.1.1. Техническое обслуживание датчика давления и устранение неисправностей ограничивается периодическими проверками кабельных соединений. После установки датчика, как правило, он становится недоступным для осмотра, и починить его невозможно.
- 5.1.2. Не допускается вскрытие корпуса датчика. В случае неисправности ремонт датчика производится только организацией-изготовителем, либо специализированными организациями или специалистами, сертифицированными организацией-изготовителем.
- 5.1.3. Далее приведен список ошибок, которые могут возникнуть в работе датчика, и возможные причины их возникновения.
- 5.1.4. **Показания датчика нестабильны:** возможно,
- 5.1.5. – на сигнальный кабель оказывают влияние помехи, создаваемые расположенными вблизи источниками электрического воздействия (линии электропередачи, генераторы, двигатели, трансформаторы, сварочные аппараты и т.п.);
- 5.1.6. – считывающее устройство работает некорректно, например, разряжена его батарея.
- 5.1.7. **Невозможно провести считывание показаний датчика:** возможно,
- 5.1.8. – поврежден сигнальный кабель; следует проверить его работоспособность, как описано в п. 2.1. Причиной слишком большого значения сопротивления может быть поврежденный провод; причиной слишком малого значения — короткое замыкание;
- 5.1.9. – считывающее устройство неисправно; следует проверить, работает ли оно с другими датчиками;
- 5.1.10. – датчик неисправен.
- 5.1.11. Если не удастся самостоятельно устранить ошибки в работе датчика, следует обращаться в сервисную службу ООО «СИТИС» по телефону 8-800-70000-92 (звонок бесплатный) или электронной почте [sprut@sitis.ru](mailto:sprut@sitis.ru).

### 5.2. Гарантия

- 5.2.1. В случае возникновения неисправностей в устройствах комплекта датчика давления или вопросов по эксплуатации изделий комплекта «СИТИС: Спрут» следует обращаться в сервисную службу ООО «СИТИС» по телефону 8-800-70000-92 (звонок бесплатный) или электронной почте [sprut@sitis.ru](mailto:sprut@sitis.ru).
- 5.2.2. Гарантийному обслуживанию не подлежат изделия с дефектами, возникшими в результате механических повреждений, неправильной установки и нарушений условий эксплуатации.
- 5.2.3. Гарантия на датчик давления действует 3 года. Средний срок службы датчика составляет 25 лет.

### 5.3. Хранение

- 5.3.1. Изделия комплекта датчика давления должны храниться в индивидуальных упаковках в закрытом вентилируемом помещении при температуре -30 – +80 °С. Влажность воздуха не должна превышать 80 % при температуре +25 °С. В воздухе не должно быть пыли и примесей, вызывающих коррозию и нарушение электрической изоляции.

### 5.4. Транспортирование

- 5.4.1. Транспортирование комплекта датчика давления должно производиться в транспортной таре при температуре -30 – +80 °С любым видом закрытого транспорта в соответствии с правилами перевозки грузов, действующими на этом виде транспорта.
- 5.4.2. Для защиты от ударов в процессе транспортировки оборудование необходимо поместить в соответствующую упаковку: по возможности следует использовать специальный упаковочный ящик или ящик для переноски оборудования.

### 5.5. Утилизация

- 5.5.1. Утилизацию комплекта датчика давления производит потребитель.

## 6. Термины и определения

А

**АСМК** — автоматизированная система мониторинга конструкций и оснований.

Д

**даталоггер** — прибор для автоматической записи на носитель информации данных, поступающих с датчиков или других технических средств.

И

**«Игла»** — даталоггер АСМК «СИТИС: Спрут».

М

**микрострейн** (англ. microstrain — микродеформация) — безразмерная единица измерения относительной деформации,  $10^{-6}$ .

**мониторинг** — процесс периодического, систематического или непрерывного сбора информации о параметрах сложного объекта или деятельности для определения тенденций изменения параметров.

С

**струнный датчик** — измерительный преобразователь давления, перемещений, расхода, усилия и т. п. в электрический сигнал (ток, напряжение, частоту). Чувствительный элемент струнного датчика — натянутая вольфрамовая или стальная струна (несколько струн). Действие основано на зависимости собственной частоты колебаний струны  $F_0$  от её длины  $l$  массы  $m$  и силы натяжения  $F$  (либо механического напряжения  $S$  или удлинения).

У

**УИД** (*уникальный идентификатор*) — цифровой или цифробуквенный код (подпись), однозначно определяющий принадлежность информации какому-либо устройству.

Х

**хост, хост-контроллер** — любое устройство, предоставляющее сервисы формата «клиент-сервер» в режиме сервера по каким-либо интерфейсам связи, и уникально определённое на этих интерфейсах.

Ш

**штрихкодová маркировка** — это последовательность чёрных и белых полос, представляющая некоторую информацию в удобном для считывания техническими средствами виде. Различают линейные и двумерные кодовые последовательности. Все изделия АСМК «СИТИС: Спрут» промаркированы с помощью линейной штрихкодовой последовательности в соответствии со стандартом EAN-13.

## 7. Назначение выводов датчика

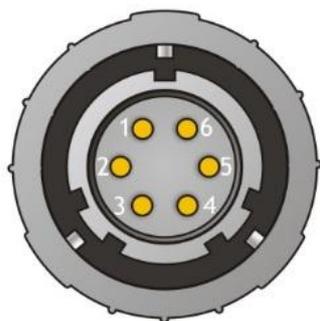
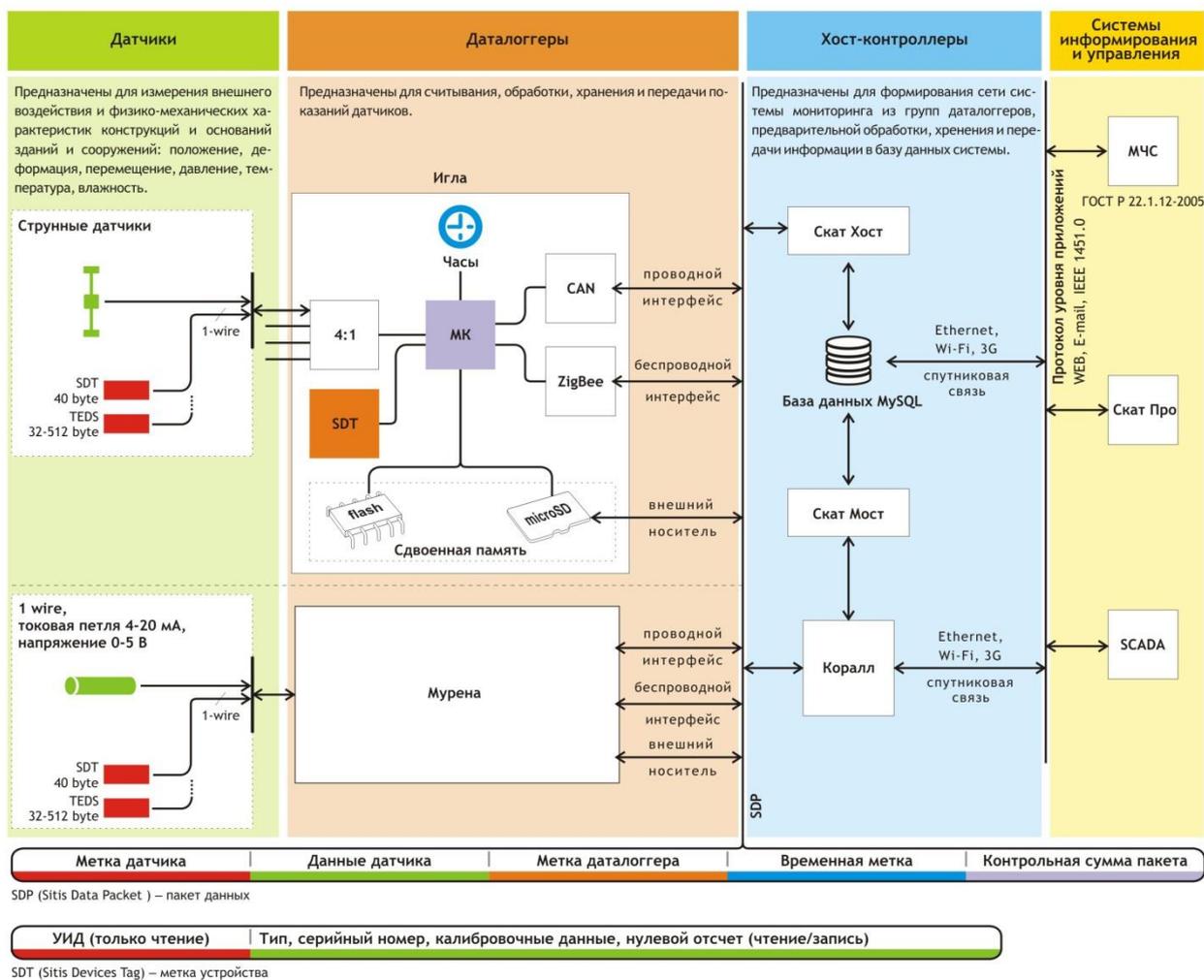


Таблица подключения цепи датчика

Контакт разъема	Цвет провода	Функция
1	красный	электромагнитная катушка
2	черный	электромагнитная катушка
3	синий	питание электронной метки
4	–	–
5	зеленый	интерфейс связи с электронной меткой
6	белый	заземление

## 8. Приложение 1. Применение АСМК «СИТИС: Спрут»

**Автоматизированная система мониторинга конструкций (АСМК) «СИТИС: Спрут»** предназначена для непрерывного или периодического контроля состояния конструкций и оснований зданий и сооружений.



### Интеллектуальные метки.

Ключевой особенностью АСМК «СИТИС: Спрут» является обязательное наличие у каждого источника данных уникального идентификатора, позволяющего однозначно идентифицировать его в любой момент времени. В системе используется два типа меток: аппаратные метки устройств (SDT) и программные метки (UUID) любых пользовательских данных АСМК. В электронной метке устройств содержится тип, серийный номер и калибровочные данные, записываемые при производстве. Метка SDT построена на основе энергонезависимой памяти с возможностью многократной перезаписи данных, исключение составляет область памяти, содержащая уникальный идентификатор (УИД), данная область доступна только для чтения. Метками SDT маркируются все датчики и даталоггеры АСМК «СИТИС: Спрут», суммарный объем метки составляет 40 байт. Все даталоггеры могут быть использованы для подключения интеллектуальных датчиков, соответствующих стандарту IEEE 1451.4 model 2, содержащих унифицированный электронный паспорт изделия (TEDS).

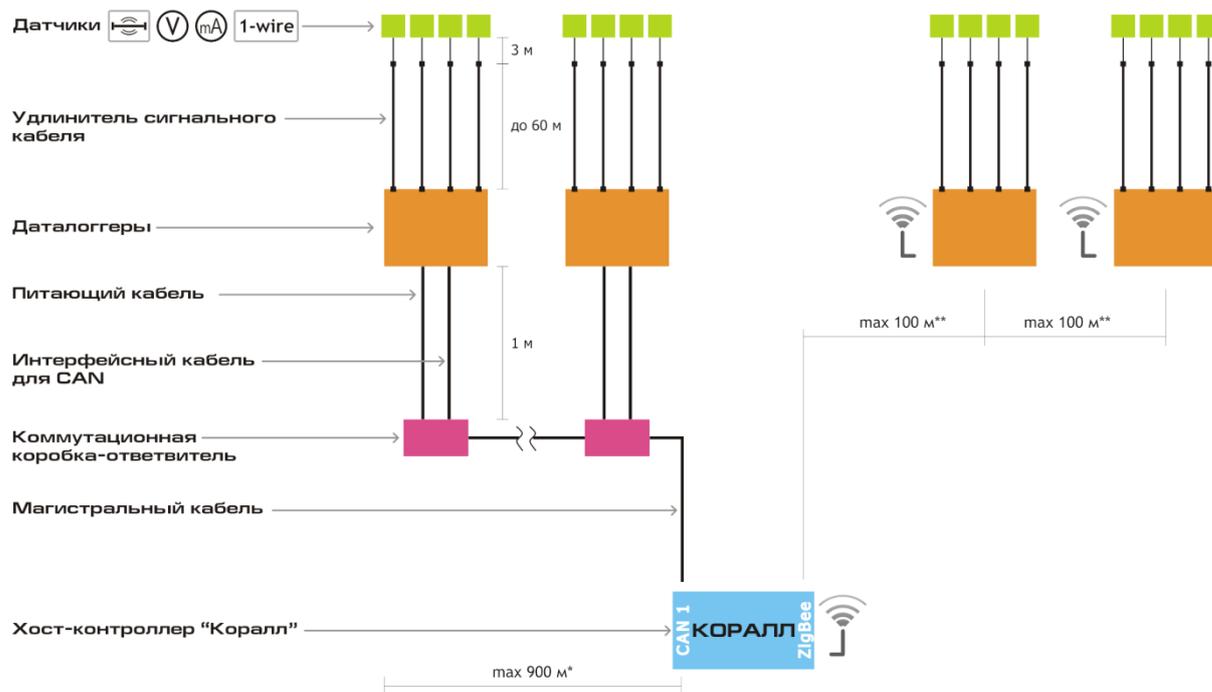
### «Черный ящик»

Даталоггеры АСМК «СИТИС: Спрут» предназначены для опроса датчиков, хранения и передачи результатов измерения. Каждый даталоггер имеет встроенный источник питания и часы глобального реального времени, которые автоматически синхронизируются с надежными источниками времени (GPS, SNTP) при наличии каналов связи с ними. Даталоггеры построены по принципу «черного ящика», сохраняющего результаты измерения и происходящие с даталоггером события в дублированной энергонезависимой памяти. Встроенной батареи (6AA) достаточно для работы в течение 2,5 лет при опросе четырех датчиков один раз в час. Даталоггер может функционировать как в составе проводной (CAN) или беспроводной (ZigBee) сети, организованной с помощью хост-контроллеров, так и автономно. В автономном режиме передача данных возможна с помощью карт памяти microSD.

### Пакет данных «СИТИС: Спрут»

Ключевой особенностью работы сети АСМК является пакет данных «СИТИС: Спрут» (SDP) —любые данные системы мониторинга при формировании, передаче, хранении и обработке содержат набор обязательных атрибутов: уникальный идентификатор источника и приемника данных, дата и время формирования пакета, контрольная сумма. Такая структура пакета позволяет на любом этапе работы с данными понимать, какому датчику принадлежат эти данные, когда они были получены, какое устройство произвело опрос этого датчика и является ли информация в пакете достоверной.

## 9. Приложение 2. Структурная схема сети АСМК «СИТИС: Спрут»



\* Предельная суммарная длина сегмента линии CAN

\*\* Предельное расстояние между элементами беспроводной сети ZigBee в условиях прямой видимости