Многоуровневая система мониторинга подземных вод

Solinst 403 CMT

С момента внедрения в 1999 году система CMT зарекомендовала себя как надёжное, экономически эффективное и простое в установке решение для организации глубинно-избирательного мониторинга подземных вод. Система обеспечивает получение трёхмерной информации о гидродинамике и пространственном распределении загрязняющих веществ, что позволяет более точно определять источники загрязнения и оптимизировать стратегии ремедиации.

Использование системы CMT значительно снижает затраты на мониторинг при сохранении высокой детализации. Система позволяет формировать мониторинговые интервалы на заданных глубинах, обеспечивая при этом надежную герметичность между зонами за счёт цельной конструкции трубки без соединений.

Доступны два варианта исполнения:

- Семиканальная система из полиэтилена с внешним диаметром 43 мм (1,7″), предназначенная для установки до 7 мониторинговых уровней в одной скважине
- Трёхканальная система с диаметром 28 мм (1,1″), оптимизированная для установки в скважины малого диаметра, в том числе при использовании технологии прямого вдавливания, где ограничено кольцевое пространство для устройства изоляции

Ключевые преимущества использования многоуровневых систем:

- Обеспечивают наиболее точную четырёхмерную (4D) оценку состояния участка
- Критически важны для понимания вертикального распределения загрязняющих веществ
- Позволяют отслеживать изменения концентраций и границ загрязнённого облака, включая ПФАС
- Значительно снижают затраты по сравнению с установкой нескольких отдельных скважин
- Минимизируют воздействие на участок в процессе установки

Научные исследования показали, что загрязнённые облака, как правило, имеют тонкую и высоко стратифицированную структуру. Кроме того, установлено, что традиционные наблюдательные скважины с длинными фильтрами приводят к смешиванию воды на всей длине фильтрующего интервала. Это искажает фактическое распределение концентраций загрязняющих веществ.

Многоуровневые скважины с короткими фильтрующими интервалами позволяют устранить эту проблему, обеспечивая высокое пространственное разрешение при отборе проб. Такая детализация даёт непревзойдённое представление о подповерхностной миграции загрязнений, что позволяет разрабатывать более эффективные и экономически оправданные меры по их устранению.

Данные о качестве воды, полученные из таких скважин, отличаются высокой точностью и надёжностью, что делает их пригодными для защитимых выводов в рамках инженерных и экологических исследований.

Основные области применения

- Мониторинг загрязнений ПФАС и других устойчивых соединений
- Изучение вертикального и горизонтального распределения загрязнителей с использованием профильного мониторинга
- Работы в районах с высоким уровнем грунтовых вод и мелким залеганием
- Многоуровневый отбор проб воды и контроль уровня в нескальных и коренных породах
- Оценка воздействия водоотлива при строительстве и горных работах
- Расчёт массового потока и скорости миграции загрязнителей
- Мониторинг эффективности естественной самоочистки или активной ремедиации
- Исследование распределения ЛОС, МТБЭ, перхлората и НЖУ (NAPL)
- Обоснование расположения реактивных барьеров, Waterloo Emitter™ и других систем
- Мониторинг газовой фазы с использованием герметичных оголовков
- Повышение эффективности и обоснованности выбора технологий очистки

Преимущества системы Solinst CMT

- Невысокая стоимость как самого оборудования, так и установки
- Монтаж одной системы может выполнить бригада из 2 человек за 2–3 часа
- До 7 изолированных зон наблюдения в одной скважине
- Точное позиционирование портов отбора проб и герметизирующих интервалов
- Исключение риска перекрёстного загрязнения за счёт цельной трубной конструкции
- Простая герметизация интервалов с использованием песка и бентонита либо специальных картриджей

- Подходит для установки в скважины, пробуренные ударно-канатным, роторным или прямоточным способом
- Отсутствие необходимости оставлять открытые стволы скважин
- Надёжное уплотнение между зонами — отсутствие протечек и коротких замыканий потока

Технические характеристики: две конфигурации системы СМТ

Параметр	**7-канальная система**	**3-канальная система**
Диаметр трубки	1,7″ (43 мм)	1,1″ (28 мм)
Число каналов	до 7	до 3
Диаметр каналов	6-пазовая: 10 мм; центр: 9,5 мм	9,5 мм
Объём канала	40 мл/фут; центр: 30 мл/фут	30 мл/фут
Длина бухт	30 м, 60 м, 90 м	30 м, 60 м, 150 м
Центраторы (стандарт)	112 мм	84 мм
Рекомендуемый диаметр скважины (для засыпки)	≥100 мм	≥89 мм
Минимальный диаметр скважины (при установке с картриджами)	—	71–89 мм
Методы установки	Обратная засыпка песком/бентонитом; естественный обвал	То же + установка с герметизирующими картриджами

Преимущества использования многоканальной трубки

Многоуровневая скважина, выполненная на основе непрерывной (цельной) многоканальной трубки, имеет ряд важных преимуществ по сравнению с другими типами многоуровневых систем. Главное из них — отсутствие соединений и стыков, что существенно повышает надёжность конструкции, снижает риск разгерметизации, а также сокращает затраты времени и средств при монтаже.

Система СМТ отличается простотой в использовании и высокой адаптивностью. Положение зон мониторинга можно задать как до бурения, так и по факту, после получения данных по геологическому разрезу.

Для формирования отбора в нужной точке используется шаблон для вырезания порта (Port Cutting Guide). С его помощью в выбранном канале выполняется отверстие на необходимой глубине. Сразу под портом в канал устанавливается герметизирующая заглушка,

предотвращающая вертикальный ток жидкости. Снаружи порт закрывается ситечком из нержавеющей стали, которое защищает систему от попадания мелкодисперсных частиц.

Каждый канал на нижнем торце герметизируется, что исключает межканальные перетоки и обеспечивает получение достоверных, раздельных данных по каждому уровню фильтрации.

Механические заглушки для герметизации каналов

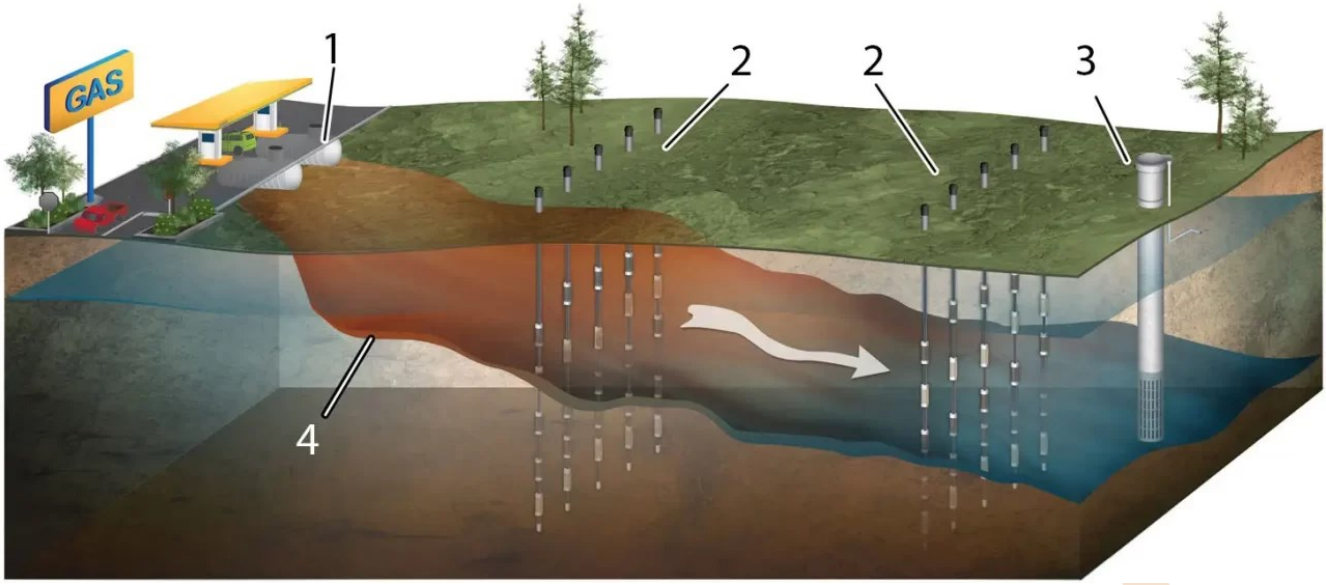
Использование картриджей при бурении методом прямого продавливания

При установке системы с 3 каналами методом прямого продавливания (direct-push) диаметр кольцевого зазора часто недостаточен для точного размещения слоёв из песка и бентонита. В связи с этим были разработаны бентонитовые картриджи, обеспечивающие надёжную герметизацию между зонами, а также песчаные картриджи, дополняющие конструкцию.

Диаметр таких картриджей составляет приблизительно 2,4″ (61 мм), что позволяет использовать их внутри различных продавочных штанг. Для обеспечения надлежащего разбухания и герметизации рекомендуется использовать их в скважинах с диаметром не более 3,5″ (90 мм).

Песчаные и бентонитовые картриджи для трёхканальной системы CMT

СМТ-профили для оценки массового потока загрязняющих веществ



Условные обозначения на схеме:

1. Источник загрязнения
2. Профиль из СМТ-скважин
3. Водозаборная (приёмная) скважина
4. Шлейф загрязнения

Многоуровневый мониторинг — ключевой элемент комплексной оценки подземных вод.

Многоуровневые скважины обеспечивают наиболее достоверные и детализированные данные для оценки состояния подземных вод в трёхмерном пространстве. Ключевые преимущества:

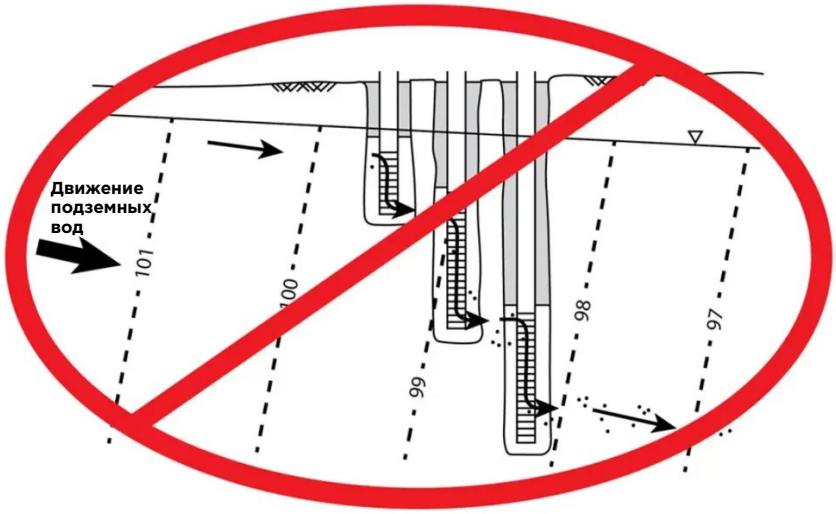
- Применение длинных фильтров приводит к усреднению показателей напора и концентрации загрязняющих веществ по всей глубине скважины. Это может скрыть локальные зоны загрязнения и вертикальные градиенты. Многоуровневые системы исключают данный эффект, обеспечивая отбор проб с дискретных интервалов.

- Надёжная изоляция между зонами отбора исключает возможность переноса загрязнений по стволу скважины. Это особенно критично в условиях естественной фильтрации, когда перепады давлений могут вызывать нежелательное перемешивание.

- Многоуровневые системы позволяют собрать данные для расчёта массового потока загрязняющих веществ (mass flux), что важно для оценки реальной нагрузки на окружающую среду. Последовательное размещение скважин по направлению фильтрационного потока обеспечивает необходимую детализацию.

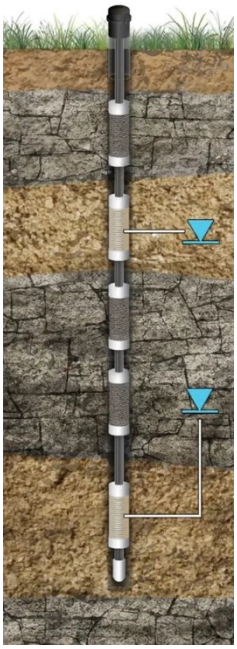
- Точная информация о структуре загрязнённого шлейфа — залог эффективной ремедиации. Системы СМТ дают возможность проектировать очистные мероприятия, опираясь на реальные данные по глубине и концентрации.

- Использование многоуровневых скважин позволяет сократить количество буровых работ и минимизировать затраты на лицензирование. Благодаря малым объёмам прокачки снижаются расходы на утилизацию и логистику.

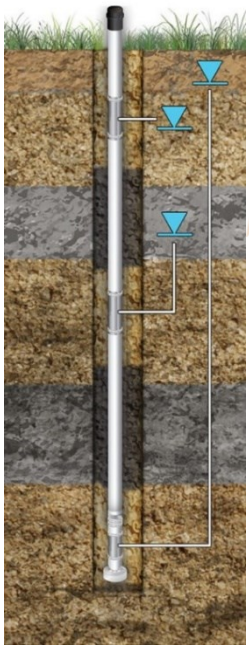


Применение многоуровневых систем снижает вероятность формирования новых путей миграции загрязняющих веществ по сравнению с кластерами скважин, в которых песчаные интервалы перекрываются. (Источник: Einarson, 2006)

Типовые установки многоуровневых систем СМТ (с отображением разницы уровней воды по интервалам наблюдения)



Пример установки 3-канальной системы СМТ в трещиноватых породах. С использованием картриджей из бентонита и песка для изоляции интервалов



Пример установки 3- или 7-канальной системы СМТ. С послойной засыпкой песка и бентонита от устья скважины

Многоуровневые системы мониторинга подземных вод Solinst

Помимо системы **CMT Модели 403**, компания Solinst выпускает ещё две многоуровневые системы, каждая из которых оптимально подходит для определённых условий и задач мониторинга.

Модель 615ML – Многоуровневая система на основе забивных пьезометров

Система состоит из мониторинговых портов из нержавеющей стали, соединённых между собой с помощью стальных труб диаметром 3/4" NPT и муфт. Трубки соединяются с портами через двойные штуцеры, что позволяет организовать до 3 или 6 зон наблюдения — в зависимости от диаметра трубок.

Установка возможна методом прямого вдавливания (direct push), включая ручную забивку с использованием скользящего молота. Система легко транспортируется и может применяться для отбора проб и измерения уровней воды с помощью переносного оборудования.

Модель 401 – Система Waterloo

Эта система представляет собой модульную конструкцию, состоящую из отрезков обсадных колонн, отборных портов и, при необходимости, пакеров, которые соединяются в герметичную компоновку скважины.

Для каждой зоны может быть предусмотрен отдельный насос и/или датчик давления. Вся трубка отбора и кабельная разводка размещаются внутри модулей и сводятся в устьевой распределительный узел. Система Waterloo подходит для долговременного мониторинга в скальных породах и обсаженных скважинах. Практика применения подтверждена на глубинах до 300 м.

Модель 615ML

Модель 401 Waterloo

Модель 403 CMT

Приборы Solinst для измерения уровня и отбора проб подземных вод

Для точного измерения уровня воды и отбора проб из каналов многоуровневой системы СМТ рекомендуется использовать следующие приборы Solinst:

Измерение уровня воды

Уровнемер Solinst Модель 102

Модель 102 оснащена узким кабелем с лазерной маркировкой и зондом P4 диаметром 4 мм, что позволяет проводить измерения в любом канале СМТ. Диаметр зонда достаточно мал, чтобы размещать прибор в канале одновременно с насосом.

Обустройство скважин

Гидрологическая рулетка Solinst Модель 103

Гидрологическая рулетка применяется для контроля глубины при засыпке песка и бентонита в процессе завершения буровых работ. Лента из PVDF с лазерной маркировкой через каждые 5 см позволяет точно позиционировать материалы в скважине.

Отбор проб

В зависимости от глубины до уровня подземных вод и используемого протокола отбора, Solinst предлагает следующие варианты оборудования:

Перистальтический насос Solinst Модель 410

Предназначен для отбора проб с глубин до 9 м. Работает от источника питания 12 В (например, автомобильного аккумулятора). Наиболее эффективен при работе на неглубоких уровнях.

Мини-инерционный насос диаметром 6 мм (1/4″)

Может использоваться с недорогими полиэтиленовыми трубками на глубине до 15 м или с тефлоновыми (PTFE) трубками — до 45 м. Применяется для отбора проб из каналов СМТ и открытых труб.

Двухклапанный микронасос Solinst Модель 408M

Насос диаметром 3/8″ (9,5 мм), предназначен для отбора проб летучих органических соединений (ЛОС) при низких расходах в ограниченных пространствах. Изготавливается из трубок из PTFE или полиэтилена, не содержащих ПФАС.

Поверхностный распределительный блок оборудован обходным клапаном и разъёмом для подключения к электронному блоку управления.

Многоуровневая распределительная система Multi-Purge

Применяется с насосом 408M на глубинах до 73 м.

Электронный блок управления насосом Solinst Модель 464

Предназначен для управления работой насоса 408M. Возможна работа в автоматическом режиме с предустановленными настройками или ручная настройка параметров.

Отбор паровой фазы

Система контроля паров и герметизации устья скважины Solinst Модель 403

Применяется для герметизации каналов системы СМТ в условиях напорных (артезианских) вод или при необходимости мониторинга паровой фазы.

При необходимости к сборочной головке подключается трёхходовой вентиль, обеспечивающий направление потока пара к манометру и приёмной ёмкости для отбора проб.

Практическое применение систем СМТ

В одном из производственных зданий были установлены девятнадцать семиканальных СМТ-систем для детального изучения и мониторинга шлейфа загрязнения, распространяющегося за пределы площадки. Установка производилась методом бурения с применением высокочастотных вибраций на глубину до 30 метров. Сложные геологические условия усложняли бурение и монтаж, однако все системы были успешно установлены в течение двух недель.

В другом проекте СМТ-системы были размещены на дне залива для измерения разгрузки подземных вод в прибрежной зоне. Было установлено восемь семиканальных СМТ-систем, адаптированных для эксплуатации в открытой воде. Для возможности пробоотбора с поверхности залива при помощи перистальтического насоса были специально изготовлены герметичные устьевые головки.