Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова.
1988. Т. 116

УДК 622.24:551.321

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОТБОРА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБ В МОЩНЫХ ЛЕДНИКОВЫХ ТОЛЩАХ

В.М.ПАШКЕВИЧ, С.В.МИТИН

В рамках общесоюзной комплексной программы исследований «Мировой океан" по хоздоговору с Институтом микробиологии АН СССР ведется разработка скважинных способов отбора проб из ледниковых толщ, которые пригодны для дальнейшего их микробиологического исследования. Обращение к скважинному способу отбора проб для микробиологических целей вызвано тем, что существующий способ отбора таких проб из керна льда [1, 2] имеет ряд существенных недостатков. Проба, полученная из керна при помощи установки УСЛ, в связи с ограниченным объемом керна (1 м керна диаметром 110-120 мм дает примерно 5 л пробы) и малым содержанием микроорганизмов в нем, является малопредставительной, поэтому попадание микроорганизмов в пробу носит случайный характер. Кроме того, проба, взятая из керна, является локальной из-за малой площади сечения керна (100-150 $см^2$), что также снижает вероятность попадания микроорганизмов в пробу.

Эти недостатки метода отбора микробиологических проб из керна льда при помощи установки УСЛ [2] вызвали необходимость поиска новых способов и устройств для отбора проб, обеспечивающих представительность последних, т.е. проба должна быть большой по объему и характеризовать апробируемый горизонт в основном по простиранию.

Таким требованиям отвечает скважинный способ пробоотбора методом размыва ледниковой толщи. При разработке техники и технологии скважинного способа отбора проб для микробиологических целей был использован опыт конструирования и экспериментальных исследований, накопленный при создании скважинного газового пробоотборника [4, 5, 8], а также учтены требования обеспечения полной стерильности зоны пробоотбора и самого процесса отбора пробы и соблюдения температурного режима на всем пути следования микроорганизмов, начиная от вытаивания их из ледовой толщи и кончая осаждением в пробосборном баке или на фильтрах. Температура выше 25 °С может оказаться губительной для целого ряда микроорганизмов.

С учетом этих основных требований были разработаны технические проекты нескольких модификаций скважинного пробоотборника для микробиологических целей (рис.1), результаты проработок защищены рядом авторских свидетельств [3, 6, 7].

Схема первого варианта конструкции пробоотборника представлена на рис.1,а. Данная конструкция разрабатывалась, исходя из следующей технологии отбора пробы. Пробоотборник спускается на грузонесущем кабеле

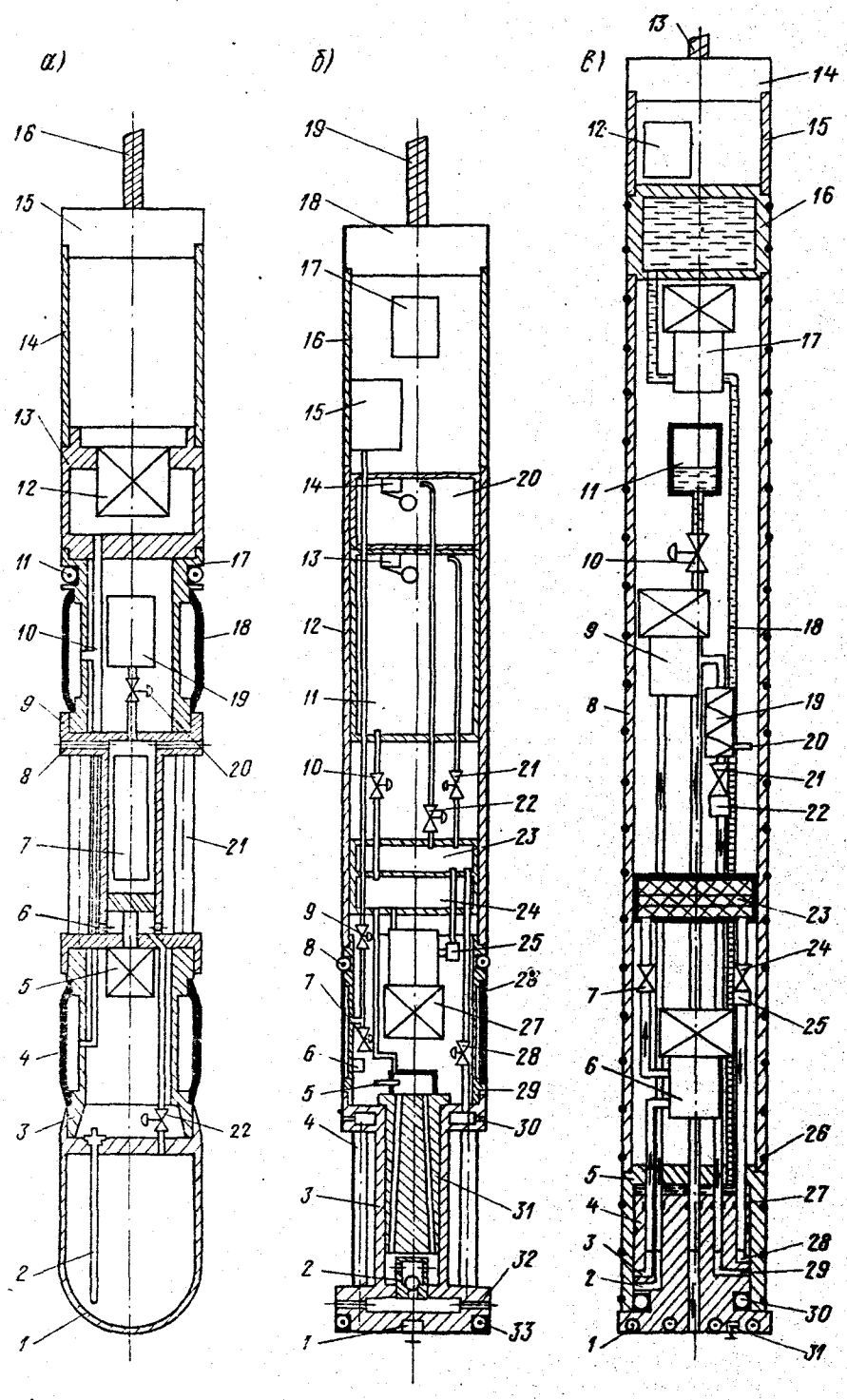


Рис.1. Совершенствования скважинного пробоотборника для отбора микробиологических проб

в уже подготовленную скважину, вывешивается на требуемом горизонте. При помощи верхнего и нижнего пакеров герметизируется зона пробоотбора и производится ее стерилизация. Затем осуществляется размыв массива льда в зоне пробоотбора и сбор намытой пробы в герметичный бак. После чего пакеры снимаются и пробоотборник поднимается на поверхность.

Конструкция пробоотборника включает следующие узлы: узел стерилизации, узел размыва зоны пробоотбора, систему пакеров, пробосборный бак и кабельный замок.

Узел стерилизации представляет собой четыре лампы ультрафиолетового облучения 2I, смонтированные в корпусе размыва 9.

Узел размыва зоны пробоотбора состоит из корпуса размыва 9, в котором имеются окна забора воды 6 и сопла 8, через которые вода под давлением выбрасывается на стенки скважины и размывает их. Здесь же установлен насос 5 и нагреватель 7. Для первоначального запуска насоса 5 имеется емкость со стерилизованной водой I9, которая через электромагнитный клапан 20 соединяется с полостью над насосом 5.

Система пакеров состоит из корпусов I7 и 3, на которых смонтированы соответственно резиновые пакеры I8 и 4. Накачка резиновых пакеров I8 и 4 производится от турбокомпрессора I2, смонтированного в корпусе I3 и соединенного при помощи трубопровода I0 с корпусами I7 и 3. Для повышения надежности изоляции зоны пробоотбора в пакерный узел включен нагреватель II, при помощи которого поверх резинового пакера направляется слой воды и формируется ледовый пакер.

После намыва достаточного количества пробы из ледового массива сбор ее производится в пробосборный бак I, который снабжен запирающим электромагнитным клапаном 22 и нагревателем 2.

В верхней части пробосборника расположен электроотсек I4 и кабельный замок I5, при помощи которого пробоотборник соединяется с грузонесущим кабелем I6.

Данная конструкция защищена авторским свидетельством [3].

Результаты лабораторных испытаний первого макетного образца (рис.I,а) выявили ряд недостатков принятой схемы пробоотборника (нижнее расположение пробосборного бака, ненадежность наддува пакеров от турбокомпрессора, отсутствие системы контроля за процессом пробоотбора и т.д.) и необходимость ее переработки.

Новая конструкция пробоотборника (рис.I,б) более совершенна. Отбор пробы производится только из призабойной зоны скважины после достижения горизонта пробоотбора. При этом пробоотборник ставится на забой скважины и вмораживается в него для изоляции зоны пробоотбора снизу. Сверху зона пробоотбора изолируется резиновым и ледовым пакерами.

В конструкцию пробоотборника включен дополнительный бак для сбора результатов предварительного обмыва зоны пробоотбора, который, как и основной, расположен в верхней части снаряда, а также система датчиков с блоком управления для обеспечения оперативного контроля и автоматизации процесса пробоотбора.

Устройство и принцип действия новой модификации пробоотборника показаны на рис.I,б [6].

Изоляция зоны пробоотбора производится при помощи нагревателя 33 (путем расплавления забоя и последующего вмораживания в него нижней части корпуса размыва 3 до уровня, на 5-I0 мм меньшего окон 32) и системы пакера, состоящей из корпуса 29 с резиновым пакером 26, баллона со сжатым воздухом I5, который трубопроводом соединен с корпусом 29. Подача воздуха в пакер и сброс его производится при помощи электромагнитных клапанов 9 и 7. Для повышения надежности изоляции зоны пробоотбора сверху в пакерном узле вмонтирован нагреватель 8, при помощи которого производится наплавление воды над резиновым пакером 26 и формирование ледового пакера. Замена турбокомпрессора I2 (см. рис.I,а) на баллон со сжатым воздухом I5 (см. рис.I,б) позволила повысить жесткость резиновой оболочки пакера 26 и тем самым надежность резинового пакера. Стерилизация зоны пробоотбора обеспечивается четырьми лампами ультрафиолетового облучения 4, смонтированными на корпусе размыва 3.

Размыв массива льда и отбор пробы осуществляются следующим образом. Предварительно залитая бактерицидная жидкость (например, этиловый спирт) из полости над обратным клапаном 2 по каналу в нагревателе 3I и трубопроводу попадает в нижнюю камеру 24 распределителя потоков, откуда насосом 27 подается по трубопроводу в верхнюю камеру 23 распределителя. Оттуда по трубопроводу через электромагнитный клапан 28 жидкость подается в корпус размыва 3 и через сопла 30 выбрасывается на стенки скважины, обмывая и дополнительно стерилизуя их в зоне пробоотбора. Стекая вниз, жидкость через окна 32 в корпусе размыва, через обратный клапан 2, нагреватель 3I вновь возвращается в нижнюю камеру 24 распределителя.

После предварительного обмыва (стерилизации) стенок скважины в зоне пробоотбора результаты обмыва путем переключения электромагнитных клапанов (28 - закрывается, 22 - открывается) насосом 27 подаются в бак 20. Клапан 22 закрывается, открываются электромагнитные клапаны I0 и 28 и производится слив из пробосборного бака II стерилизованной воды, которая через сопла 30 распыляется на стенки скважины. Начинается размыв ледового массива и формирование объема пробы. Подогрев воды в циркуляционном потоке и поддержание ее температурного режима обеспечивается нагревателем 3. Намытая проба путем переключения клапанов (28 - закрывается, 2I - открывается) насосом 27 по трубопроводу подается в пробосборный бак II. После заполнения пробосборного бака II клапан 2I закрывается, закрывается клапан 9 и открывается клапан 7 (спускается резиновый пакер), включаются нагреватели 33 и 8 и начинается расплавление ледовых пакеров, после освобождения от которых пробоотборник поднимается на поверхность.

Оперативный контроль и автоматизация процесса пробоотбора обеспечиваются системой датчиков: датчик забоя I, датчик-регулятор температуры воды в циркуляционном потоке 5; датчик наличия давления в пакере 6; датчик работы насоса 25; датчики наполнения бака I4 и I3 - а также бло-

ком управления I7, расположенным в электроотсеке I6. Питание электросистем пробоотбора осуществляется по грузонесущему кабелю I9, закрепленному в кабельном замке I8 пробоотборника. Монтажная схема пробоотборника закрыта защитным кожухом I2.

Однако и эта конструкция пробоотборника имеет ряд недостатков. Стерилизация стенок скважины в зоне пробоотбора лампами ультрафиолетового облучения не гарантирует полного уничтожения привнесенных микроорганизмов, так как даже такой небольшой экран, как снежинка, укрывает от облучения, имеются также теневые зоны, куда не попадает свет лампы. Невозможно полностью убрать из циркуляционной системы продукты предварительного обмыва со следами бактерицидной жидкости, которая, попав в чистую пробу, может отрицательно воздействовать на микроорганизмы в пробе.

Конструкция бесперспективна для дальнейшей разработки пробоотборника для работы в скважинах, заполненных буровыми растворами.

В процессе дальнейшего совершенствования процесса отбора микробиологических проб была разработана конструкция пробоотборника, которая лишена вышеупомянутых недостатков (рис.I,в) [7].

Пробоотборник функционально состоит из узлов герметизации и стерилизации зоны пробоотбора, систем размыва, отбора пробы, внедрения в ледовый забой и системы контроля и управления процессом пробоотбора.

Узел герметизации пробоотборника представляет собой равномерно навитый на наружной поверхности пробоотборника кабель-нагреватель 26.

Узел стерилизации состоит из бачка II с бактерицидной жидкостью (например, этиловый спирт), находящейся под давлением воздуха. Бачок II через электромагнитный клапан I0 соединен трубопроводом с головкой нагревателем 4.

В систему размыва входят насос 9, нагреватель I9 и обратный клапан 2I, которые трубопроводами соединены с каналом забора 2 и соплами 29 головки-нагревателя 4.

Система отбора пробы представляет собой блок микробиологичеоких фильтров 23, на входе и выходе которого установлены обратные клапаны 7 и 24. Прокачку среды через блок фильтров 23 обеспечивает насос 6. Система отбора пробы трубопроводами соединена с каналом забора 3 и каналом выброса воды 28 головки-нагревателя 4.

Схема пробоотборника заключена в трубу 8.

Система внедрения в ледовый забой состоит из корпуса 5 с головкой-нагревателем 4 и насоса I7 с емкостью I6, заполненной гидравлической жидкостью. Насос I7 соединен с головкой-нагревателем 4 трубопроводом I8. Головка-нагреватель 4 имеет встроенный нагреватель I, каналы забора 2 и 3, сопла 29 и канал 28 выброса воды. Уплотнение головки-нагревателя 4 в корпусе 5 и направляющих трубопроводов в головке-нагревателе 4 выполнено при помощи резиновых колец 30 и 27.

Система контроля и управления процессом пробоотбора состоит из блока управления I2, расположенного в электроотсеке I5, и датчиков забоя 3I, работы насоса 25 и 22, терморегулятора 20.

Электропитание систем пробоотборника обеспечивается по грузонесущему кабелю I3, к которому при помощи кабельного замка I4 подвешивается пробоотборник.

Взятие пробы из ледового массива производится после достижения скважиной требуемого горизонта. Пробоотборник спускается на грузонесущем кабеле I3 в скважину. При достижении забоя срабатывает датчик забоя 3I. Пробоотборник приподнимается на 0,2–0,3 м над забоем, открывается клапан I0 и в призабойную зону из бачка II сливается бактерицидная жидкость. После обработки призабойной зоны пробоотборник устанавливают на забой (бактерицидная жидкость вытесняется в затрубное пространство) и включают нагреватели I и 26. Начинается внедрение пробоотборника в забой. При этом бактерицидная жидкость и вода, образующаяся при плавлении льда, поднимаются в затрубном кольцевом зазоре между стенкой скважины и пробоотборником. После внедрения пробоотборника в забой на 0,5–0,6 м в затрубном кольцевом зазоре образуется столб воды, достаточный для формирования ледового пакера (примерно 2–2,5 м). Нагреватели 26 и I выключаются и происходит вмораживание пробоотборника в забой и формирование ледового пакера в затрубном кольцевом зазоре.

Затем включаются нагреватель I и насос I7. Под давлением гидравлической жидкости, нагнетаемой насосом I7 из емкости I6 в полость корпуса 5, происходит внедрение головки-нагревателя 4 в забой. Образующаяся талая вода собирается в емкость II. После выхода головки-нагревателя 4 из корпуса 5 на заданное расстояние срабатывает датчик забоя 3I. Насос I7 и нагреватель I отключаются. Включаются насосы 9 и 6 и нагреватель I9. Начинается процесс размыва ледового массива и отбор микробиологической пробы.

Насосом 9 вода через канал 2 забирается с забоя и прокачивается через нагреватель I9, где она нагревается до температуры, не превышающей 25 ^{0}С, и затем выбрасывается через сопла 29 в призабойную зону, размывая стенки скважины. Работа нагревателя I9 в заданном температурном режиме обеспечивается при помощи терморегулятора 20. Вода – продукт размыва ледового массива – через канал 3 насосом 6 подается на блок микробиологических фильтров 23, где осаждается микробиологическая проба, а отфильтрованная вода через канал 28 выбрасывается на забой.

Наличие потока в циркуляционной системе насосов 9 и 6 контролируется по срабатыванию датчиков 22 и 25.

После окончания отбора пробы насосы 9 и 6 и нагреватель I9 отключаются, обратные клапаны 7 и 24 автоматически закрываются, герметизируя блок фильтров 23. Включаются нагреватели 26 и I – пробоотборник освобождается от ледового пакера и поднимается на поверхность.

Здесь производится частичная разборка пробоотборника и снятие блока фильтров 23 с обратными клапанами 24 и 7 для дальнейшего микробиологического анализа пробы, осажденной на фильтрах.

Большую функциональную нагрузку по обеспечению надежности процесса пробоотбора несет система автоматического управления и контроля, разработка которой велась параллельно с разработкой и совершенствованием

конструкции скважинного пробоотборника и технологии отбора микробиологических проб из льда.

Учитывая жесткие условия работы пробоотборника (низкие отрицательные температуры, высокие влажность и уровень электропомех) при разработке системы управления и контроля было уделено особое внимание герметизации и термостабилизации электронных блоков, помехозащищенности электронной схемы.

За основу проектирования взяты принципы построения электронной схемы скважинного газового пробоотборника СПГУ [4, 5, 8].

Замечания, отмеченные в процессе полевых испытаний СПГУ (низкая надежность нагревательных элементов, нестабильность ВЧ-генератора и другие), не носят принципиального характера и были учтены при проектировании блока управления для микробиологического пробоотборника.

Главными достоинствами данной схемы являются высокая помехозащищенность и универсальность (рис.2).

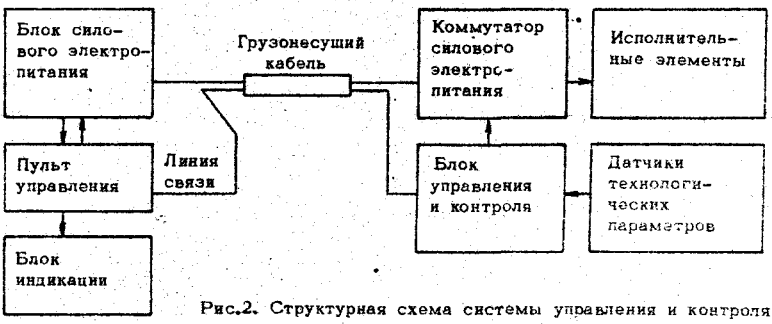


Рис.2. Структурная схема системы управления и контроля

Блок силового электропитания служит для получения напряжений, необходимых для работы электронной схемы и исполнительных элементов: нагревателей, электродвигателей насосов и электромагнитных клапанов.

Органы управления работой пробоотборника расположены на лицевой панели пульта управления.

Команды на управление и выполнение различных операций и питающее напряжение подаются в блок управления и контроля по двухпроводной линии связи, которая также используется для передачи информации о состоянии датчиков технологических параметров.

Питание исполнительных элементов осуществляется через тиристорный коммутатор.

Система управления и контроля имеет три режима работы. В режиме "Выбор операции" обеспечивается подготовка к работе коммутатора силового электропитания. В этом режиме блок силового электропитания отключен. В режиме "Контроль датчиков" контролируется процесс пробоотбора путем последовательно-периодического опроса состояния датчиков технологических параметров на определенной для каждого датчика частоте ВЧ-генератора. В режиме "Включение силового электропитания" обеспечивается подача электропитания к исполнительным элементам.

Схема блока управления и контроля позволяет оперативно контролировать процесс пробоотбора и при необходимости изменять режим работы исполнительных органов.

В качестве датчиков температуры использованы терморезисторы с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления. Датчик давления на забой представляет собой герметичный латунный цилиндр, внутри которого расположена цепочка постоянных резисторов, включенных последовательно. Их полное электрическое сопротивление изменяется при замыкании герконов, подсоединенных к каждому резистору.

Давление в пакере контролируется тензодатчиком. Датчики наполнения бака выполнены в виде параллельных проводников, электрическое сопротивление между которыми изменяется на границе раздела "воздух - вода".

Датчик работы насоса представляет собой турбину, угловая частота вращения которой пропорциональна производительности насоса. Постоянные магниты, закрепленные на корпусе турбины, вызывают замыкание геркона (герметизированного контакта).

Порядок выполнения операций произвольный, однако в электронной схеме пробоотборника предусмотрена возможность автоматического перехода от операции к операции. Данную функцию выполняет автомат устройства управления по алгоритму, хранящемуся в постоянном запоминающем устройстве, на основании информации, поступающей от датчиков технологических параметров и таймера. Временные параметры выполнения отдельных операций вводятся в оперативное запоминающее устройство перед началом работы.

Создание системы контроля и управления микробиологического пробоотборника ведется в рамках разработки унифицированной системы контроля и управления скважинными снарядами на грузонесущем кабеле, которая выполняется в Отделе антарктических исследований Ленинградского горного института.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абызов С.С., Кудряшов Б.Б., Бобин Н.Е. Анализ и результаты применения метода теплового бурения для отбора проб при микробиологических исследованиях ледников // Изв. АН СССР, серия биологическая. 1980, № 3. С. 380-386.

2. А.с. 527912 СССР, МКИ G 12 К1/10. Устройство для отбора проб из образца твердого материала при микробиологических исследованиях / Б.Б.Кудряшов, Н.Е.Бобин, С.С.Абызов (СССР). № 2137714/13; Опубл. 15.06.78. Бюл. № 22.

3. А.с. 1086357 СССР, МКИ G 01 № 1/10. Пробоотборник / А.А.Земцов, Ю.Б.Кононов, О.А.Цыганков, С.С.Абызов (СССР). № 3525145/25-26; Опубл. 15.04.84. Бюл. № 14.

4. Земцов А.А., Митин С.В., Шкурко А.М. Технические средства для отбора проб углекислого газа из ледовых толщ // Разведка и охрана недр. 1983. № 12. С.23-25.

5. Земцов А.А., Чистяков В.К., Шкурко А.М. Экспериментальные исследования скважинных устройств для отбора газовых проб с глубоких горизонтов ледовых толщ // Управление горным давлением / Ленингр. горный ин-т. Л., 1984. С. 120-126. (Физ. процессы горного производства).

6. Пробоотборник / В.М.Пашкевич, Н.Е.Бобин. Положительное решение по заявке № 4116962/26 от 08.09.86. МКИ G 01 № 1/02.

7. Пробоотборник / В.М.Пашкевич, Б.Б.Кудряшов. Положительное решение по заявке № 4312838/26 от 21.07.87. МКИ G 01 № 1/02.

8. Земцов А.А., Кудряшов Б.Б., Чистяков В.К., Шкурко А.М. Скважинный газовый пробоотборник для изучения абсолютного возраста ледовых толщ с помощью изотопного углеродного анализа // Антарктика: Докл. комиссии. М. : Наука, 1983. Вып. 23. С. 72-78.