

Козыряцкий Н.Г.  
(ООО «Нефтегазгеофизика»)  
Калистратов Г.А.  
(НПЦ «Центргазгеофизика»)

## **О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ИСПЫТАНИЙ СКВАЖИННОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ**

Основой конкурентоспособности любой продукции, в том числе и геофизической, является ряд факторов, определяющими из которых являются – ее **качество и цена**. Естественно, определенное влияние на потребителя оказывает и её привлекательный внешний вид и некоторые другие свойства, иногда некоторые потребители становятся «жертвами» умело представленной рекламы, зачастую недобросовестной и нередко не подтвержденной комплексом испытаний.

Качество конкретных видов аппаратуры, в том числе и геофизической, характеризуется комплексом свойств, которые только в совокупности позволяют потребителю надежно и эффективно решать стоящую перед ним или поставленную ему заказчиком задачу. Весь этот комплекс свойств должен гарантироваться разработчиком и изготовителем аппаратуры, подтверждаться объективными испытаниями, что и обеспечивает соответствующий имидж и авторитет разработчику и изготовителю на рынке.

С точки зрения проведения испытаний, а также предъявляемых требований к их организации, составу испытательного оборудования, квалификации кадров, методической и нормативной базе, условий их проведения необходимо иметь чёткую информацию об определяющих свойствах объекта, с испытаниями которого придётся иметь дело.

Как объект испытаний (ОИ) геофизическая аппаратура для исследования скважин характеризуется, как правило, следующими основными свойствами, табл. 1 (хотя не должны исключаться и ряд других свойств).

Таблица 1

№ п/п	Группа свойств
1	Функциональное назначение
2	Стойкость и прочность ОИ к внешним воздействиям (эксплуатационные свойства)

№ п/п	Группа свойств
3	Экологические показатели воздействия ОИ на внешнюю среду
4	Эргономичность (удобство взаимодействия обслуживающего персонала с ОИ в процессе эксплуатации ОИ)
5	Помехоустойчивость
6	Совместимость интерфейсов (электрических, механических), уровень унификации
7	Безопасность работы с ОИ*

\* Примечание. Хотя свойство «безопасность» приведено в таблице в числе последних – это чистая условность, т. к. безопасность – один из важнейших комплексных показателей качества, который, **во-первых, должен проверяться**, а во-вторых – подтверждаться **испытаниями** на всех этапах их проведения.

В промысловой геофизике геофизическая аппаратура, о чем дальше и пойдет речь, представляет собой, как известно, информационно-измерительную систему (ИИС), в обобщенном виде представленную на рис. 1, отдельные части которой работают в резко различающихся условиях, при которых на них на разных стадиях жизненного цикла действуют внешние воздействия (ВВ) (температура, давление, агрессивная среда, механические факторы – удары, вибрация, транспортная тряска и др.):

- **скважинный прибор (СП)** - воспринимает воздействия повышенной температуры и давления как при спуско-подъемных операциях (СПО), так и непосредственно в процессе проведения измерений; температура и давление изменяются от значений в атмосферных условиях до величин на забое скважины, т.е. в диапазоне температур от отрицательных до существенно значительных положительных, достигающих нередко значения 200°С и выше, и давлений от атмосферного до многих сотен атмосфер и более в условиях забоя;

- **линия связи** – каротажный кабель, условия воздействия внешней среды на который во время спуско-подъемных операций также изменяются от атмосферных до температуры и давления на забое, причем на разных участках кабеля эти значения разные;

- **наземное оборудование**, часть элементов которого (**устройства для измерения скорости и глубины спуска СП, а также натяжения кабеля**) при этом работает в климатических условиях места производства работ (на открытом воздухе), а **часть аппаратуры, находящейся в лабораторном отсеке подъемника** (устройства восприятия информации, необходимые для её преобразования, обработки и регистрации на различных носителях - «регистратор» ) которые работает в относительно «благополучных» нормальных температурных условиях (НУ), как правило, при температуре (20 ±5)°С;

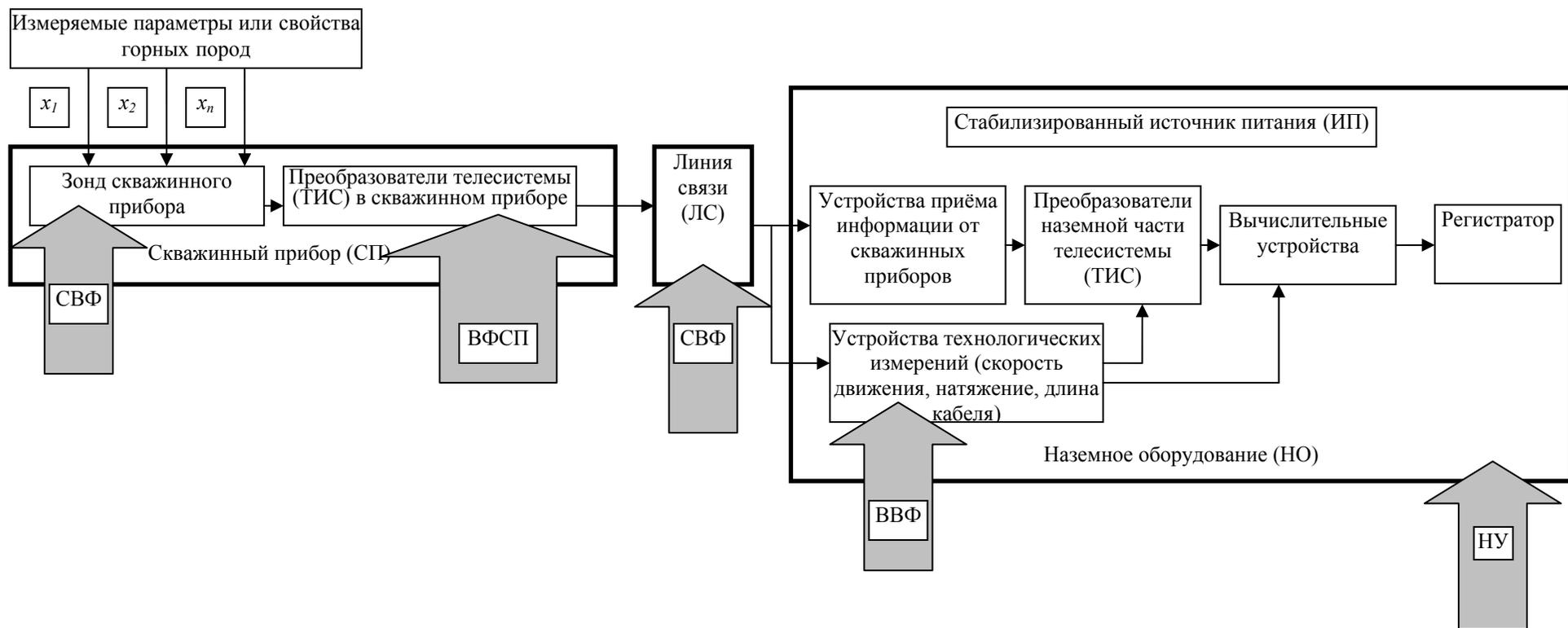


Рис. 1 Обобщённая схема скважинной информационно-измерительной системы (ИИС) и воздействующие на неё влияющие факторы

- СКВ – скважинные воздействующие факторы (температура и давление);
- ВФСП – воздействующие факторы в скважинном приборе (температура);
- ВВФ – внешние воздействующие факторы (климатические условия места производства ГИС);
- ТИС – телеизмерительная система (температура и давление);
- НУ – нормальные условия эксплуатации.

- кузов (подъемника, лаборатории, станции), подвергаемый влиянию климатических и механических воздействий как при хранении и транспортировке, так и на месте проведения работ.

Как видно из вышесказанного, внешние воздействия по абсолютным значениям и диапазонам изменения различны для отдельных элементов скважинной ИИС. Могут также иметь место и другие воздействия другой природы (электрические или электромагнитные наводки, свойства раствора, соляной туман, воздействие инея и пр.) о которых разработчику также необходимо иметь представление.

Все это говорит о том, что воспроизвести в целом для ИИС условия испытаний, адекватные условиям всего жизненного цикла элементов ИИС, практически **нереально**. С целью подтверждения качества ИИС или её элементов, в том числе и при сертификации, необходимо с этим считаться и принимать оптимальные решения для получения максимально объективного результата при выборе или создании испытательного оборудования, разработке методов и приёмов испытаний, учитывая, естественно, экономические и временные затраты.

Однако при всем разнообразии технических устройств в составе ИИС, различии рабочих условий применения и т. д. можно выделить как общие моменты в выборе испытательного оборудования и условий испытаний, так и моменты специфические.

Начнем с общих моментов, характерных для ИИС в целом.

К основным характеристикам ИИС для ГИС следует отнести [1]:

- а) диапазоны измерения параметров пласта (свойств горных пород) или скважины, величин, именуемых в геофизике по известной причине «кажущимися»;
- б) характер связей измеренных параметров с параметрами, в которые они преобразуются для передачи по каналу связи (носят ли они функциональный характер или эти связи статистические, например, корреляционные);
- в) характеристики основных погрешностей преобразования измеряемого параметра в сигнал, удобный для передачи по каналу связи с последующими преобразованиями, или величина основной погрешности в целом в измерительном тракте ИИС;
- г) дополнительные погрешности от влияющих факторов, включая и влияющие факторы на измерительный зонд скважинного прибора, которые в совокупности с основной погрешностью характеризуют с определенной вероятностью достоверность результата измерений;
- д) динамические характеристики изменения измеряемого параметра и динамические свойства измерительного тракта ИИС, которые в целом определяют допустимую скорость

спуско-подъёмных операций при измерениях, или инерционность в измерительном канале при измерении в статическом режиме;

е) потребляемая мощность, время непрерывной работы, стабильность, в т. ч. уход нуля и ряд других характеристик ИИС, которые здесь не упомянуты, но могут иметь место.

При испытаниях непосредственно скважинных приборов (СП) (однометодных, реализующих один метод ГИС, или комплексных, в т. ч. программно-управляемых, с любой системой передачи информации, использующей различные виды телеметрических систем – аналоговых или цифровых,) необходимо априорно знать характеристики наземного оборудования – регистраторов, уже прошедших испытания, результаты которых подтверждены также в процессе эксплуатации. Проводить испытания необходимо с реальным кабелем длиной, соответствующей ёмкости барабана каротажного подъёмника, или с его имитатором (эквивалентом), позволяющим изменять ряд характеристик, способных влиять на результат испытаний, или убедиться в том, что эти изменения на результат не влияют.

В эквиваленте кабеля необходимо иметь возможность изменять активное и волновое сопротивление жил (жилы), например, увеличением их адекватно изменению сопротивления реального кабеля от температуры при спуско-подъёмных операциях вплоть до температуры на забое скважины. Увеличение активного и волнового сопротивлений позволяет, например, оценить допустимую длину линии связи. Изменение емкостных и индуктивных связей позволяет оценить влияние каналов друг на друга или его отсутствие.

Естественно, что указанный вид испытаний с подобным «имитатором» следует проводить не с каждым прибором, но для определенного типа СГА получение подобных объективных результатов необходимо, чтобы не иметь неприятных последствий при работе приборов определенного типа (серии) в реальных скважинных условиях.

В соответствии с условиями эксплуатации на всех стадиях жизненного цикла наземной и скважинной частей СГА, включая и кузов (подъёмника, лаборатории и др.) при испытаниях должны подтверждаться все их регламентированные в документации свойства при изменении внешних влияющих факторов (ВВФ) в пределах максимальных их значений, которые характерны для конкретного элемента ИИС [2].

ИИС в целом и ее компоненты должны быть испытаны:

- на тепло- и холодопрочность и устойчивость;
- на прочность и устойчивость к механическим воздействиям (удары, вибрации, линейные и угловые ускорения);

- на механическую прочность при транспортировании.

Скважинные приборы дополнительно должны пройти испытания на прочность и устойчивость при одновременном воздействии гидростатического давления и температуры до значений, соответствующих забойным.

Наземные технологические устройства (ТУ), находящиеся в кузове и подвергающиеся влиянию погодных условий должны испытываться на воздействие погодных факторов (дождь, снег, иней, соляной туман, брызги и т.д.)

Наземные компоненты ИИС, находящиеся в кузове, должны испытываться на теплоустойчивость при температурах, обеспечиваемых в кузове, а также на механические воздействия с учетом амортизационных устройств (при их наличии).

Кузов геофизической лаборатории (станции, подъёмника) в целом должен испытываться на воздействие региональных погодных условий (например, воздействие солёного тумана при эксплуатации на морских платформах и т.д.).

Естественно, что одновременно для всех элементов ИИС такие условия испытаний обеспечить нереально и такого рода испытания следует проводить покомпонентно или в определенных сочетаниях.

Естественно также, что не следует все из них проводить на каждом экземпляре компонента ИИС. Достаточно провести полные испытания типовых компонентов, (например, при приемочных испытаниях и последующих периодических), проверяя неизменность технологического уровня производства, обеспечивающего стабильность свойств изделий. Учёт этих факторов может существенно сказываться на затратах на испытания и сроках, необходимых для их проведения.

Проверка остальных основных групп свойств скважинных ИИС, перечисленных в табл. 1, тоже имеет свою специфику.

Экологическое влияние на внешнюю среду или живые организмы могут оказывать не все компоненты ИИС, и проверять следует только те из них, которые это влияние могут оказывать. Например, в случае со скважинными приборами неблагоприятное воздействие на окружающую среду могут оказывать химические и радиоактивные вещества, имеющиеся в скважинном приборе, скважинная жидкость, которая может стекать с кабеля и скважинного прибора при их подъеме, (они влияют также и на безопасность) и т. д. В подъемниках – это внешний шум, создаваемый при его работе, наличие вредных выхлопов и др.

Эргономичность, как правило, целесообразно оценивать как покомпонентно, так и в составе ИИС.

Что касается скважинных приборов - это удобство сборки и разборки, масса при ручной переноске, удобство подсоединения к каротажному кабелю, удобство соединения в сборки на устье скважины и др.

В лабораторном отделении подъемников для оценки эргономичности при испытаниях необходимо проверить условия работы оператора (возможность наблюдения устья скважины, верхнего ролика, трассы кабеля от подъемника до устья, удобство работы с органами управления и контроля, освещенность рабочих мест и т.д.).

Наличие помех (например, существенных радиопомех) и других, по всей видимости, следует проверять в целом при работе ИИС. Наличие или отсутствие их должен априорно представлять разработчик.

Совместимость интерфейсов (электрических, механических), унификация (в плане возможности эквивалентной замены) может проверяться как для отдельных элементов, так и для ИИС в целом.

Безопасность эксплуатации следует проверять для всех элементов ИИС без исключения и всей ИИС в целом (монтаж элементов, возможность их безопасного обслуживания персоналом, выполнение всех требований действующих нормативных элементов по технике безопасности, наличие предупреждающих об опасности надписей и т. д.).

Оценка влияния отдельных и некоторых комплексных внешних воздействий, эквивалентных реальным при эксплуатации, возможна двумя путями:

- моделированием условий эксплуатации на испытательных стендах;
- использованием реальных скважин, в т.ч. так называемых контрольных, с известными по величине воздействиями по давлению и температурам;
- совместным использованием моделирования и реальных скважин, хотя ясно, что полный комплекс внешних воздействий проявит свое влияние только в реальных условиях проведения ГИС.

Создание стендовых испытательных установок вообще, и обеспечивающих комплексные воздействия с возможностью последовательного добавления или уменьшения их количества (с целью оценки влияния каждого воздействующего фактора) в частности - задача достаточно сложная, дорогостоящая и часто просто невыполнимая. В связи с этим разработчику уже на стадии проектирования априорно необходимо на теоретическом, иногда даже на интуитивном, но доказательном, уровне (в том числе анализом на виртуальных моделях, если их удастся создать) выделять самые важные, существенно влияющие, воздействия.

Приведём в качестве примера испытания скважинного прибора. Внутренние элементы скважинного прибора избыточному давлению практически не подвергаются (повышение давления во внутреннем объёме скважинного прибора, вызванное повышенной температурой, будем в данном примере считать несущественным), поэтому объектом воздействия гидростатического давления являются только охранный кожух и уплотнительные элементы, они же и должны подвергаться испытаниям на повышенное давление. Температурный градиент в скважине, как правило, известен, как и ожидаемая максимальная величина температуры. Учитывая, что скорости спуско-подъёмных операций относительно небольшие (максимальные скорости подъёма редко превышают 8000 м/ч, т.е. 2-3 м/с), скорости спуска еще меньше, давление и температуру условно можно считать статическими и изменять их в термобарокамере последовательно или одновременно с максимальным приближением к изменению в реальных скважинах.

Что касается механических воздействий на скважинный прибор, то с наибольшими последствиями они проявляют себя, как правило, в форме ударов и возникающих при этом ускорений, которым при этом подвергаются все элементы СП. Длительность удара ( $t_y$ ) в сравнении с периодом собственных колебаний ( $T_0$ ) элементов прибора определяет тот или иной вид реакции элемента на это воздействие [3].

Поскольку прибор представляет собой систему элементов различной массы с различными способами крепления к корпусу, то говорить о величине  $T_0$  можно только применительно к элементам конкретного вида. Расчеты показывают [4], что для радиоэлементов  $t \gg T_0$  и, следовательно, реализуется квазистатический режим, когда элемент повторяет ударный импульс, а после него наблюдаются остаточные колебания элемента с собственной частотой.

Учитывая, что последствия механических нагрузок на элементы скважинных приборов, работающих при наиболее экстремальных величинах внешних воздействий, сводятся либо к отказам чисто по механическим причинам (поломка отдельных деталей, выводов радиоэлементов при нагрузках, превышающих их несущую способность, усталостные разрушения), либо к изменению параметров электронных трактов, следует уже на этапе конструирования скважинных приборов до их испытаний, зная возможные величины внешних воздействий, проводить подбор элементов скважинных приборов с учетом возможных последствий.

Следует отметить, что для разработчика и испытателя скважинных приборов должны быть обозначены некие типовые условия их эксплуатации, перечень, характер и величины типичных внешних воздействий, должны быть выделены классы скважинной аппаратуры для реализации разного рода технологий.

К великому сожалению такого рода ориентиры в виде ГОСТов и ОСТов бывших Мингео СССР и Миннефтепрома существовали, но некомпетентной и недальновидной политикой в области стандартизации эта система стандартов была разрушена.

С другой стороны, современным требованиям к испытаниям скважинных ИИС в силу появления новых классов аппаратуры и технологий ГИС эти документы уже не отвечают. Появление СГА с цифровой передачей данных (с оцифровкой непосредственно в СП), программно-управляемых приборов, комплексов СГА, работающих в компоновке буровых колонн, в процессе бурения, специальных автономных приборов требует принципиально нового подхода к их испытаниям.

Кроме того, экспериментальные исследования механических воздействий, которым подвергаются скважинные приборы во время выполнения ГИС [3], показывают на существенные различия в ряде случаев между нормируемыми показателями механических воздействий и реально зафиксированными.

Всё это предопределяет необходимость переработки нормативных документов по испытаниям скважинных ИИС, как обязательных к исполнению в плане техники безопасности и экологии, что находится в компетенции Ростехнадзора, так и рекомендательных с требованиями для добровольной сертификации (с выдачей сертификата соответствия аккредитованными сертификационными органами), где были бы обозначены перечисленные выше ориентиры с учётом требований к современной СГА.

Вновь разработанные нормативные документы могут определять только основные ориентиры требований для разработчиков, испытателей и потребителей, ниже которых опускаться не следует. Аппаратура, заказываемая потребителями, может обладать параметрами и характеристиками ниже или выше этих ориентиров - это «воля» заказчика, сертификат на ее соответствие требованиям заказчика тоже должен выдаваться, но только с указанием значений параметров и характеристик, затребованных заказчиком, и объективно подтверждаемых при испытаниях.

Необходима современная нормативная база и по методикам испытаний. Устройства, которые предназначены для использования в качестве компонентов ИИС (датчики, преобразователи, комплексные устройства типа измерителей скорости, натяжения и глубин и т. д.), разрабатываемые и выпускаемые отдельно, должны проходить испытания отдельно, с помощью общетехнических средств измерений и испытаний, при этом на них могут выдаваться сертификаты соответствия. Но при испытании ИИС в целом должна подтверждаться их совместимость с отдельными элементами системы.

Однако к этому вопросу надо подходить реалистично, имея ввиду, что выполнить немедленно их сертификацию просто нереально в силу их многочисленности и огромных

денежных затрат. Поэтому, ставя задачу их сертификации на перспективу, в настоящее время необходимо предоставить возможность сертифицировать ИИС с участием не сертифицированных, но прошедших приёмо-сдаточные испытания таких элементов.

Несовершенство организационных основ испытаний скважинных ИИС можно продемонстрировать на следующем примере.

В соответствии с последними требованиями Ростехнадзора для получения разрешения на применение в нефтяной отрасли скважинного геофизического оборудования, размещаемого на самоходных шасси, его приёмочные испытания должны длиться не менее года для того, чтобы проверить работу оборудования во всех климатических условиях (зима, лето, переходные периоды).

При использовании в составе такого изделия скважинной ИИС и ее компонентов, испытанных раньше, часть из которых к тому же размещена в геофизическом кузове («КУНГе»), оснащённом подогревателем и кондиционером, испытания этого изделия фактически сводятся к испытанию «КУНГа» на воздействие климатических факторов и системы поддержания комфортных условий внутри него.

Такой длительный срок неоправданно затягивает разработку и производство таких изделий (за рубежом часто их разработка вместе с испытаниями и сертификацией составляет срок менее года). Вполне очевидно, что для профилированных на эти изделия производства все эти свойства проверены и проверяются постоянно длительной эксплуатацией этих изделий, уже давно выявлены «слабые места». Поэтому гораздо разумнее, чтобы качество «КУНГа» подтверждали производители, а приёмочная комиссия проверяла только стабильность технологии на заводе производителя, а назначать длительный (годовой и более) срок разумно только при существенных изменениях производства.

Ещё один вопрос, который заслуживает внимания: что раньше – приемочные испытания или сертификация? Авторам представляется вполне разумным, чтобы при положительных результатах приёмочных испытаний геофизической продукции приёмочная комиссия выдавала (и направляла в Центральный сертификационный орган геофизической продукции) заключение о целесообразности выдачи сертификата соответствия испытанной продукции определённым установленным требованиям (изложенным в любом документе в соответствии с правилами сертификации). Очевидно, что объём приёмочных испытаний в данном контексте не должен быть меньше, чем у сертификационных испытаний. Не секрет, что зачастую различные экспертные организации, а иногда и тендерные комиссии требуют представления сертификата на

изделие, которое только еще предлагается на приемочные испытания или, что намного нелепей, должно быть разработано в случае положительного исхода тендера.

Поднимая этот комплекс вопросов, авторы надеются организовать дискуссию по статье и продолжить рассмотрение затронутых в статье вопросов в дальнейших публикациях.

Выводы:

1 Следует понимать, что при всех видах испытаний (приёмо-сдаточных, периодических) определение необходимых объемов испытаний, подбор оборудования, методов и приёмов испытаний, разработка самих программ и методик проведения испытаний не могут быть жестко формализованы. Необходимо усвоить, что принятие этих решений, как и сами испытания – творческий процесс, который не может быть жестко «застандартизован», хотя определенные регламентации и должны быть. Каждое испытание требует глубокого осмысления и часто принятия неординарных решений. При этом в подготовке процесса испытаний **обязан** принимать самое непосредственное участие разработчик СГА, как специалист глубоко знающий, даже возможно на интуитивном уровне, неординарные ситуации и неожиданности, которые могут возникнуть в процессе испытаний.

Поэтому разработчик должен непосредственно с испытателем не только разрабатывать программу и методику испытаний, но и в обязательном порядке быть непосредственным участником процесса испытаний.

2 Очевидно, что окончательный вердикт в отношении качества СГА выносят специалисты, эксплуатирующие эту технику и интерпретаторы, осуществляющие обработку предоставленных им результатов измерений при ГИС или оценивающие результаты первичной обработки при проведении ГИС.

Именно по отказам, сложностям настройки и калибровки, стабильности работы СГА, другим показателям и качеству материалов после интерпретации потребитель оценивает качество СГА.

Поэтому столь важна оценка качества аппаратуры потребителем и авторы предлагают сделать ее публичной. С этой целью в ставшем популярном для геофизиков НТВ «Каротажник» предлагается выделить специальную рубрику для отзывов потребителей о качестве используемой СГА. Публикации такого рода могут создать соответствующий имидж и авторитет поставщику СГА.

3 Необходимо поднять роль действовавших ранее нормативных документов, пересмотрев их содержание с учетом аппаратуры для новых технологий, в том числе для

аппаратуры программно-управляемой, аппаратуры, работающей в компоновке буровых колонн, автономных приборов и т.д.

4 Необходимо обосновать величины влияющих факторов для новых режимов работы СГА (например, в компоновке буровых колонн) с целью рекомендации «резервов» для СГА во время испытаний.

5 Необходимо обратиться, например от имени ЕАГО как Центрального сертификационного органа геофизической продукции, в Ростехнадзор с предложением упорядочить сроки приёмочных испытаний для отдельных видов геофизического оборудования, при этом определиться с возможностью после положительных результатов испытаний выдачи кроме разрешения на использование испытанной продукции в нефтегазовой отрасли также и сертификата соответствия по результатам приёмочных испытаний, а не только специально проводимых сертификационных испытаний.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Блюменцев А. М., Калистратов Г. А., Лобанков В. М., Цирульников В. П. Метрологическое обеспечение геофизических исследований скважин. М.: Недра, 1991. 266 с.
2. ГОСТ 26116-84 Аппаратура геофизическая скважинная. Общие технические условия.
3. Калистратов Г. А., Козыряцкий Н. Г. Отчёт о НИР по теме 141, номер гос. регистрации 01.89.0053297 «Создать технические средства и разработать методику испытаний аппаратуры и оборудования геофизических исследований скважин в условиях, близким к эксплуатационным», Тверь, ВНИГИК, 1990, 210 с.
4. Давтян М. Д., Коненков Ю. К. Механические модели элементов оборудования и аппаратуры. М.: Знание, 1986.

#### АННОТАЦИЯ

Рассмотрены основные задачи организации испытаний скважинной геофизической аппаратуры и предложены пути их совершенствования.