

Закономерности развития полевого геофизического оборудования с позиции теории решения изобретательских задач

■ Ягудин И.Р., Гафаров Р.М., Морозов К.М., АО «Башнефтегеофизика», г. Уфа.

Введение

Любая система, независимо от её природы (технической или естественной), характеризуется способностью к развитию. Вектор развития систем определяется объективными закономерностями. В процессе развития объектов возникают внутренние и внешние противоречия, разрешение которых обуславливает качественный скачок в развитии системы.

ТРИЗ (теория решения изобретательских задач) представляет собой технологию, при которой процесс творчества управляем, а не хаотичен. Данная методология обеспечивает решение задач творческого характера посредством применения специализированных законов, методов, принципов и инструментов.

Основные постулаты ТРИЗ:

- Техника развивается закономерно. При решении задач и развитии систем необходимо использовать законы развития технических систем;
- Любую изобретательскую задачу можно классифицировать и в соответствии с её видом, выбрать соответствующий способ решения;
- Для решения сложных изобретательских задач необходимо выявить и разрешить противоречие, находящееся в глубине задачи.

Перед анализом дадим функциональное определение рассматриваемой системы. Полевое геофизическое оборудование — это измерительное оборудование, регистрирующее упругую волну путем преобразования колебания земной поверхности в цифровой сигнал с

помощью геофона. Оно состоит из сейсмической станции, телеметрического оборудования, источников энергии и геофонов.

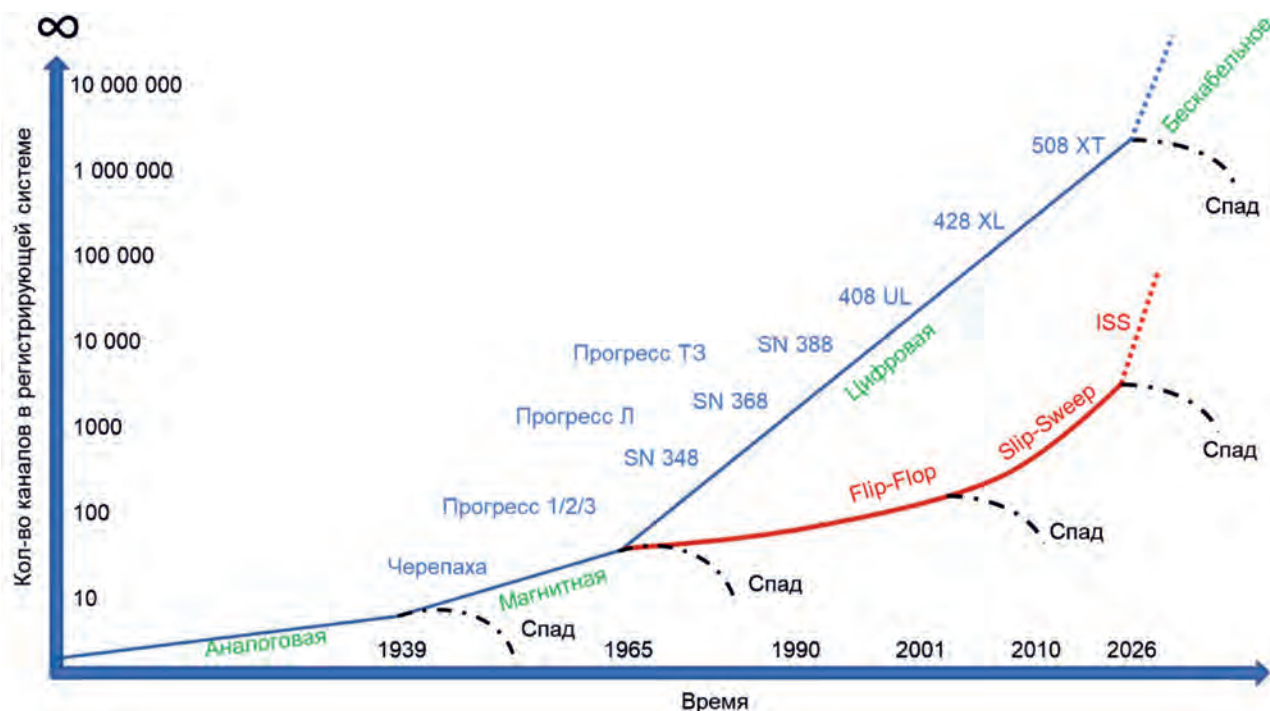
Закон S-образного развития системы

Любая функциональная система подчиняется всеобщим законам развития:

1. закон S-образного развития;
2. закон диалектики.

Рассмотрим динамику развития исследуемой функциональной системы в рамках S-образной модели эволюции. Согласно данной модели, жизненный цикл любой технической системы описывается логистической кривой и включает последовательные фазы: инициации («Зарождение»), роста («Выход на рынок»), зрелости («Насыщение / незначительные доработки») и деградации («Спад»).

В фазе деградации система, как правило, утрачивает конкурентоспособность и прекращает своё существование в прежнем виде, если не происходит революционного бифуркационного перехода, обусловленного разрешением системных противоречий и устранением ключевых ограничений. На рисунке 1 представлена S-образная кривая эволюции полевого геофизического регистрирующего оборудования, где по оси ординат отложен функциональный параметр — количество каналов регистрирующей системы, а по оси абсцисс — временной параметр. Каждый эволюционный этап системы соответствует доминирующей технологической парадигме её реализации. В ретроспективе выделяются три технологических этапа: аналоговые кабельные



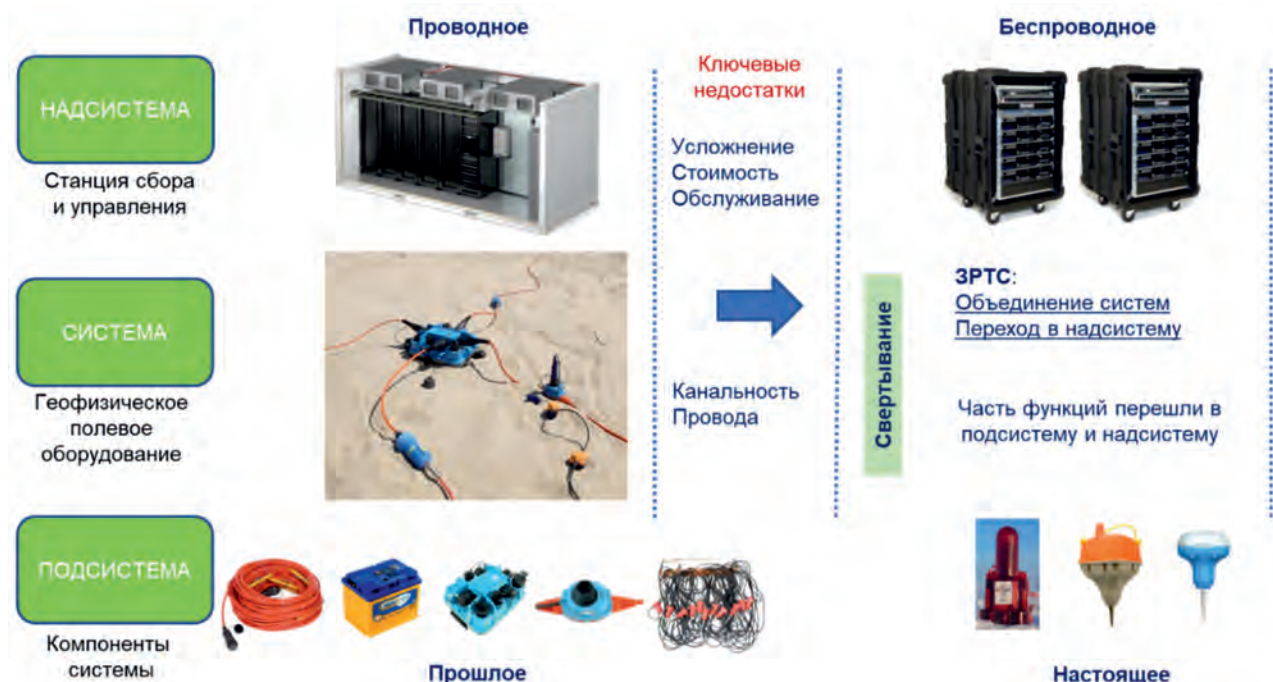
▲ Рис. 1. Закон S-образного развития полевого геофизического оборудования. Надписи **синим** цветом показывают названия регистрирующих систем. **Черным** цветом показано альтернативное развитие функциональной системы при отсутствии технологического прорыва. **Красным** цветом отображена производительность вибросейсмических методик

системы, «магнитные регистраторы» и цифровые регистрирующие системы. Переход между технологическими этапами сопровождается революционным скачком, обеспечивающим кратное увеличение числа каналов регистрирующего оборудования. При отсутствии своевременного технологического перехода неизбежна стагнация системного параметра. В настоящее время следующим этапом развития регистрирующих систем представляется переход к бескабельному оборудованию. Данный шаг принципиально устраняет кабельное ограничение как системообразующее противоречие и открывает возможность масштабирования полевых регистрирующих комплексов до практически неограниченного числа каналов, обеспечивая качественно новый уровень пространственной плотности наблюдений.

Динамика развития вибросейсмических методов (в условном масштабе)

показаны на рисунке 1. График показывает наличие кратного роста производительности при переходе от одной методики Flip-Flop к методике Slip-Sweep. Следующим этапом развития производственных вибросейсмических методик является ISS (Independent Simultaneous Sweeping), которая позволиткратно увеличить производительность в сравнении с методикой Slip-Sweep.

Основным ограничителем производительности данной методики будет выступать количество использованного регистрирующего оборудования, вследствие чего одновременное использование методик ISS с бескабельным оборудованием даст синергетический эффект роста производительности. Это открывает качественно новый класс сейсморазведочных работ — сверхбольшие съёмки с существенным увеличением пространственной дискретизацией волнового поля.



▲ Рис. 2. Переход ФС от проводного к беспроводному геофизическому оборудованию.

Системный оператор

Любую ФС (функциональную систему) можно рассматривать как совокупность подсистем и надсистем, к которым она относится. На развитие ФС может влиять развитие как подсистем, надсистем, так и закономерности развития ФС в прошлом.

Развитие ФС, отражающее смену системных вертикалей в процессе устранения недостатков на системном, подсистемном и надсистемном уровнях, называют системным оператором.

На рисунке 2 показан переход от проводного к беспроводному геофизическому оборудованию. Переход был осуществлен благодаря решению ключевых недостатков проводной системы ФС. На системном уровне были разрешены следующие критические противоречия: конечность канальности проводных регистрирующих систем, а также рост массогабаритных характеристик оборудования при масштабировании канальности вследствие увеличения объёма кабельной инфраструктуры. На надсистемном уровне были преодолены ограничения, связанные с ростом вычислительной слож-

ности систем обработки многоканальных информационных потоков и высокой стоимостью серверной инфраструктуры. Переход системы на качественно новый этап развития стал возможным благодаря достижению критического уровня зрелости подсистемных технологий: спутниковых систем (GPS/GNSS), высокоёмких аккумуляторных элементов, а также развитию микроэлектроники. В рассматриваемом случае наиболее отчётливо проявились законы развития систем «Объединение систем» и «Переход в надсистему», при котором часть функций перешла в надсистему, часть — в подсистему, а часть свернулась. В данном случае «свернулась» проводная часть оборудования, что привело к упрощению системы сбора информации.

Вопрос дальнейшего развития ФС беспроводного оборудования также будет зависеть от того, какие ключевые недостатки на надсистемном, системном и подсистемном уровнях будут устранены с учетом законов развития технических систем. Можно выделить следующие недостатки системы: постобработка



▲ Рис. 3. Системная вертикаль беспроводного регистратора.

данных вибросейсмических исследований, необходимость зарядки оборудования и скачивания материалов, резервирование каналов для обеспечения конвейерной производительности, отсутствие контроля качества и т. д.

Системная вертикаль

На рисунке 3 показана системная вертикаль обезличенного беспроводного регистратора. Рассмотрим, на первый взгляд, наименее значимый компонент подсистемы – «Корпус». При наличии большого количества альтернативных систем бес-

проводных регистраторов с внутренним или внешним геофоном выделяется общий ключевой недостаток – «грибовидная» форма блока регистратора.

На рисунке 4 показаны недостатки формы при транспортировке и переноске оборудования, что приводит к увеличению трудозатрат. Одно лишь изменение формы корпуса блока регистратора способно улучшить систему.

В данном случае применим закон «увеличения степени согласованности», то есть согласование формы с другими взаимодействующими объектами.

▼ Рис. 4. Недостатки формы при транспортировке и переноске беспроводного оборудования.



Выводы

Применение методологии ТРИЗ к анализу эволюции ФС обеспечивает возможность определения её текущего положения на S-образной кривой жизненного цикла, а также подтверждения реализованных закономерностей эволюции и прогнозирования закономерностей, подлежащих реализации на последующих этапах развития. Кроме того, данный подход позволяет установить характер и степень влияния смежных технических систем на исследуемую ФС — в части её усиления либо ослабления. Инструментарий системного оператора обеспечивает комплексный анализ взаимодействия исследуемой системы с надсистемой и её подсистемами с учётом ключевых технических и функциональных противоречий.

Технологическое развитие не только сейсмического полевого оборудования, но и сопряжённых критических систем нефтегазовой отрасли определяется необходимостью разрешения системных проблем, преодоление которых является обязательным условием перехода отрасли на качественно новый технологический уровень, соответствующий следующему этапу эволюционного цикла.

Важные даты

15 октября 2026 года исполняется 100 лет со дня рождения Генриха Сауловича Альтшуллера — выдающегося изобретателя и создателя теории решения изобретательских задач (ТРИЗ).



Генрих Саулович Альтшуллер.

Литература

1. Альтшуллер Г.С. Найти идею: Введение в ТРИЗ — теорию решения изобретательских задач. М.: Альпина Паблишер, 2013.
2. Боганик Г.Н., Гурвич И.И. Сейсморазведка. Тверь: АИС, 2006.
3. Кислов А.В. ТРИЗ и алгоритмы мышления. СПб.: КТК «Галактика», 2023.
4. Петров В.М. ТРИЗ: учебник по дисциплине «Алгоритмы решения нестандартных задач». М.: СОЛОН-Пресс, 2025.
5. Череповский А.В. Наземная сейсморазведка нового технологического уровня. М.: ООО «ЕАГЕ Геомодель», 2016.