ООО «Призмагео»

Программное обеспечение

EVApro

Описание функциональных характеристика ПО

2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ 3
1.1 Назначение ПО 3
1.2 Область применения 3
2 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ 4
2.1 Управление данными и проектами 4
2.1.1 Создание и сохранение проектов (внутренняя структура на базе HDF5) 4
2.1.2 Импорт микросейсмических событий 5
2.1.3 Загрузка геологического и технологического окружения 6
2.2 Визуализация и Графическое ядро 7
2.2.1 Высокопроизводительная 3D-визуализация облаков точек 7
2.2.2 Визуализация инфраструктурных объектов: датчики мониторинга и контуры ПХГ 9
2.2.3 Динамическая окраска и кастомизация сцены 9
2.2.4 Синхронизированное отображение во времени (timeline) 10
2.3 Алгоритмы анализа и интерпретации 11
2.3.1 Геометрическое моделирование 11
2.3.2 Фильтрация: Библиотеки селектов и обработчиков для очистки данных от шумов 11
2.3.3 Пространственный анализ: 13
2.3.3.1 Построение 2D и 3D срезов (слайсов) с настраиваемыми весовыми функциями 13
2.3.3.2 Расчет полей отношения сигнал/шум (SNR3D) 14
2.3.3.3 Расчет стимулированного объема пласта (SRV) 15
2.3.4 Статистический анализ 15
2.3.4.1 Построение гистограмм распределения свойств 15
2.3.4.2 Анализ азимутальной направленности трещин (Розы-диаграммы) 16
2.3.4.3 Классификация типов разрушения (диаграммы Гудзона / Hudson plot) 17
2.3.4.4 Кросс-корреляционный анализ параметров (Кросс-плоты) 18
2.4 Экспорт и интеграция 19
2.4.1 Выгрузка результатов интерпретации 19
2.4.2 Экспорт графических материалов и анимации вращения сцены 20
3 ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКИМ СРЕДСТВАМ 22
3.1 Минимальные системные требования 22
3.2 Программное окружение 22

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Назначение ПО

Программное обеспечение **EVApro** (Event Analysis Professional) представляет собой специализированный высокотехнологичный комплекс для всестороннего анализа, обработки и 3D-визуализации данных микросейсмического мониторинга гидроразрыва пласта (ГРП) и эксплуатации подземных хранилищ газа (ПХГ).

Система предназначена для решения задач интерпретации микросейсмической эмиссии, возникающей в массиве горных пород под воздействием техногенных процессов. EVApro обеспечивает полный цикл камеральных работ: от загрузки и контроля качества (QC) исходных каталогов событий до построения детальных геомеханических моделей разрушения и оценки эффективности стимуляции пласта. Ключевой особенностью ПО является интеграция разнородной промысловой информации (сейсмика, геология, телеметрия) в едином интерактивном трехмерном пространстве.

1.2 Область применения

- Нефтегазовая отрасль:
    - Мониторинг гидроразрыва пласта (ГРП): оценка геометрии трещины (азимут, длина, высота), контроль охвата пласта (SRV), выявление зон прорыва в соседние горизонты.
    - Разработка месторождений: анализ наведенной трещиноватости, оптимизация схем заканчивания скважин.
- Геофизические исследования:
    - Интерпретация пассивной сейсмики: анализ механизмов очагов событий (тензоры момента), выделение активных разломов.
- Подземное хранение газа (ПХГ):
    - Мониторинг целостности покрышки и герметичности хранилищ, контроль за миграцией газа и геодинамической безопасностью объектов.

2 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

2.1 Управление данными и проектами

2.1.1 Создание и сохранение проектов (внутренняя структура на базе HDF5)

EVApro использует оптимизированный подход к хранению данных проекта, основанный на открытом стандарте *HDF5* (*Hierarchical Data Format*). Эта технология позволяет эффективно работать с большими объемами гетерогенной информации (микросейсмические каталоги, временные ряды, растровые изображения и многомерные матрицы) в рамках единого файла-контейнера.

Ключевые особенности системы хранения данных:

- **Структурированное хранение:** Файл проекта (*.*evap*) имеет четкую иерархическую структуру групп и наборов данных, соответствующую логической архитектуре приложения:
  - */uuid* — уникальный идентификатор проекта.
  - */geology* — группа для хранения геологических и технологических данных:
    - Инклинометрия и конструкции скважин (*inclinometry, wells*).
    - Структурные карты и поверхности (*structuralPlans*).
    - Данные ГИС и каротажных кривых (*gises*).
    - Контуры газовых хранилищ (*gasStorages*).
  - */selections* — выборки микросейсмических событий с результатами их фильтрации.
  - */sensors* — параметры системы наблюдения (координаты датчиков).
  - */images* — привязанные растровые изображения.
  - */chartData* — временные ряды технологических параметров.
  - */settings* — глобальные настройки проекта.
  - */statsDecorator* — конфигурации статистических графиков.
- **Высокая производительность:** Использование библиотеки *JHDF5* обеспечивает быстрый бинарный ввод-вывод, что критически важно при сохранении и загрузке проектов с тысячами событий и "тяжелыми" 3D-полями атрибутов. Операции записи выполняются в асинхронном режиме (*SaveEvAProjectTask*) с детализированным отслеживанием прогресса для каждого типа данных.
- **Расширяемость и совместимость:** Модульная архитектура «писателей» (*Writers*) позволяет легко добавлять поддержку новых типов данных (например, эллипсов трещин или декораторов статистики) без нарушения обратной совместимости со старыми версиями проектов. Хранение настроек визуализации (цвета, шрифты, диапазоны осей) внутри файла проекта гарантирует полное восстановление рабочего окружения пользователя при повторном открытии.

2.1.2 Импорт микросейсмических событий

Программное обеспечение **EVApro** реализует универсальный модуль загрузки микросейсмических каталогов, обеспечивающий поддержку широкого спектра форматов данных от ведущих сервисных компаний. Архитектура модуля импорта построена на базе асинхронных задач (*multithreaded background tasks*), что позволяет обрабатывать большие массивы данных без блокировки графического интерфейса пользователя.

Ключевые возможности модуля импорта:

1. **Поддержка форматов файлов:**
    - ***CSV / TXT (Generic):*** Гибкий парсер текстовых файлов с разделителями. Реализовано автоматическое распознавание кодировок (включая *UTF-8 с BOM*) и валидация структуры заголовков. Поддерживается чтение как общих метаданных проекта (координаты устья, часовой пояс, режим оси Z), так и табличных данных событий.
    - Форматы сервисных компаний:
        - *Schlumberger:* Специализированный парсер для файлов формата *TXT/CSV*, генерируемых оборудованием и ПО компании *Schlumberger*. Обеспечивается автоматическое считывание координат (*Easting, Northing, Elevation*), параметров эллипсоидов ошибок, магнитуд и атрибутов качества сигнала (S*NR, Misfit, Condition Number*). Реализован пересчет локальных координат относительно устья скважины.
        - *Weatherford:* Поддержка импорта данных в специфичных форматах, используемых компанией *Weatherford* (включая парсинг матриц моментов и векторов поляризации).
    - ***MAT-файлы (MathWorks MATLAB)*:** Прямая поддержка бинарных файлов *.mat*. Реализована совместимость с различными версиями структур данных («*GRPver*» и «*MONITORINGver*»), что позволяет загружать как сырые данные ГРП, так и результаты интерпретации из сторонних научных пакетов.
2. **Обработка данных при импорте:**
    - ***Валидация и очистка*:** Автоматическая проверка целостности обязательных полей (дата, время, идентификатор события). Реализована обработка пропущенных значений (замена пустых строк на значения по умолчанию).
    - ***Работа со временем*:** Высокоточный парсинг временных меток с поддержкой микросекундной точности. Автоматическое преобразование строковых форматов даты (*dd/MM/yyyy, HH:mm:ss.SSS*) во внутренний формат хранения (*Unix timestamp / Serial Date*), включая коррекцию високосных секунд и синхронизацию с базовой датой (1970 г.).

- ***Преобразование координат*:** Поддержка различных режимов оси Z (глубина *TVD* / абсолютная отметка *TVDss*). Автоматический расчет абсолютных отметок на основе альтитуды устья скважины.
- ***Определение типов событий*:** Анализ матрицы момента (*Moment Tensor*) для автоматической классификации типа источника (сдвиг, разрыв, объемное расширение) непосредственно в момент загрузки.

3. **Пользовательский интерфейс импорта:**
    - Возможность ручного переименования полей (*mapping*) при загрузке нестандартных *CSV*-файлов.
    - Индикация прогресса загрузки для больших файлов с расчетом оставшегося времени.
    - Вывод детализированных сообщений об ошибках (нарушение формата *CSV*, ошибки I/O) для оперативной диагностики проблем с исходными данными.

2.1.3 Загрузка геологического и технологического окружения

EVApro обеспечивает построение детальной трехмерной геолого-технологической модели среды за счет импорта широкого спектра вспомогательных данных. Модуль загрузки окружения реализован с использованием оптимизированных алгоритмов чтения (буферизированный ввод-вывод, асинхронная обработка *SwingWorker*), что гарантирует высокую скорость работы даже с высокодискретными массивами данных.

Функциональные возможности модуля загрузки окружения:

1. **Инклинометрия и конструкция скважин:**
    - ***Загрузка траекторий*:** Импорт данных инклинометрии (*MD, Inclination, Azimuth* или координат *X, Y, TVD/AD*) из текстовых файлов с автоматическим распознаванием колонок.
    - ***Автоматический парсинг конструкции*:** Интеллектуальный алгоритм анализа файлов конструкции скважины. Система автоматически распознает и классифицирует элементы компоновки низа бурильной колонны (*КНБК*) на основе ключевых слов в файле данных:
        - *Порты ГРП (Ports):* Определение интервалов перфорации или муфт ГРП (с поддержкой точечных портов).
        - *Пакеры (Packers):* Идентификация изолирующих элементов (пакеров) для визуализации зональной изоляции.
    - ***Корректировка координат*:** Возможность автоматического пересчета относительных координат скважины в абсолютные глобальные координаты проекта на этапе загрузки.
2. **Геофизические исследования скважин (ГИС):**

- ***Поддержка стандарта LAS*:** Полноценный парсер формата ***LAS (Log ASCII Standard)***. Обеспечивается чтение заголовков (информация о скважине, месторождении, компании) и кривых каротажа.
- ***Привязка к траектории*:** Автоматическая пространственная привязка данных ГИС к стволу скважины («натягивание» кривых на 3D-траекторию) для корректной визуализации петрофизических свойств вдоль ствола.

3. **Структурные построения и поверхности:**
   - ***Импорт структурных карт*:** Загрузка регулярных и нерегулярных сеток (*Grid*) структурных поверхностей из текстовых файлов.
   - ***Визуализация пластов*:** Поддержка загрузки кровли и подошвы продуктивных пластов для отображения положения микросейсмических событий относительно геологических границ.
   - ***Визуализация срезов (слайсов) структурных планов:*** Поддержка отрисовки вертикального среза поверхности для упрощенной передачи контура структурной поверхности.
4. **Инфраструктурные объекты и мониторинг:**
   - ***Сейсмические датчики*:** Загрузка координат поверхностных и скважинных сейсмоприемников для отображения геометрии системы наблюдения и оценки апертуры мониторинга.
   - ***Газовые хранилища (ПХГ):*** Специализированный модуль для загрузки и 3D-визуализации контуров подземных хранилищ газа. Поддерживается многослойная структура резервуаров с детализацией по сторонам света (север, юг, восток, запад и т.д.) для точного отображения границ активного объема газа.
5. **Хранение и целостность данных:**
   - Все импортированные объекты окружения (скважины, карты, датчики) сохраняются во внутреннем формате проекта на базе ***HDF5***. Это обеспечивает целостность данных, высокую скорость повторного открытия проектов и возможность хранения больших объемов числовой информации (матрицы точек, кривые ГИС) в компактном бинарном виде.

2.2 Визуализация и Графическое ядро

2.2.1 Высокопроизводительная 3D-визуализация облаков точек

Графическое ядро **EVApro** построено на базе высокоуровневой библиотеки визуализации (*JZy3D/OpenGL*), что обеспечивает аппаратное ускорение рендеринга и плавную работу с облаками точек, содержащими десятки тысяч микросейсмических событий. Система реализует

концепцию интерактивной сцены, где каждый графический объект (событие, скважина, пласт) является активным элементом, доступным для выбора (*picking*) и анализа.

Ключевые возможности модуля 3D-визуализации:

1. **Режимы отображения событий (Event Rendering Modes):**
    - ***Сферы (Spheres):*** Базовый режим визуализации событий в виде трехмерных сфер. Реализована оптимизация для работы как с одиночными событиями (*SingleEventGraphicsObject*), так и с усредненными кластерами (*EventSetRendererNode*).
    - ***Сферы с плоскостями (Spheres with Planes):*** Расширенный режим для отображения механизма очага. Каждое событие визуализируется как сфера, пересеченная плоскостью разрыва, ориентация которой (азимут, угол падения) автоматически рассчитывается на основе тензора момента или атрибутов события. Это позволяет визуально оценивать геометрию трещинообразования.
    - ***Бичболы (Beachballs):*** (В перспективе/при наличии) Отображение тензоров сейсмического момента в виде стереографических проекций фокальных механизмов.
    - ***Сферы VBO (Spheres VBO):*** Упрощенный режим визуализации событий в виде трехмерных сфер. Используется при визуализации большого количества событий.
2. **Динамическая атрибутивная окраска:**
    - ***Цветовое кодирование*:** Цвет каждого события рассчитывается на лету в зависимости от выбранного атрибута (время, магнитуда, стадия, SNR и др.) с использованием настраиваемых цветовых шкал.
    - ***Масштабирование*:** Размер (радиус) графических примитивов может динамически зависеть от энергетических параметров события (магнитуда, сейсмический момент), что позволяет визуально выделить наиболее значимые события.
    - ***Специальная окраска*:** Поддержка режимов фиксированного цвета для выборок событий или выделения особых групп (*Special Color*), например, для маркировки техногенных шумов.
3. **Интерактивность и селекция:**
    - ***Pickable Objects*:** Все визуализируемые сферы являются «выбираемыми». Клик мышью по объекту в 3D-сцене инициирует обратный запрос к базе данных проекта, подсвечивая соответствующую строку в таблице атрибутов и на временной шкале.
    - ***Синхронизация*:** Изменение настроек визуализации (например, фильтрация по радиусу или цвету) мгновенно применяется к сцене без необходимости перезагрузки данных.
4. **Управление графическим контекстом:**
    - Поддержка каркасного (*Wireframe*) и залитого (*Face*) режимов отображения.
    - Контроль прозрачности для анализа внутренней структуры облака событий.
    - Оптимизация производительности за счет группировки графических примитивов.

2.2.2 Визуализация инфраструктурных объектов: датчики мониторинга и контуры ПХГ

Для обеспечения полноты контекста при анализе микросейсмичности EVApro предоставляет инструменты визуализации технологической и географической инфраструктуры проекта. Это позволяет интерпретатору оценивать взаимное расположение облака событий и ключевых промышленных объектов.

Функциональные возможности:

1. **Система наблюдения (Сейсмические датчики):**
    - **3D-позиционирование:** Точное отображение положения сейсмоприемников (геофонов или гидрофонов) в трехмерном пространстве на основе загруженных координат. Поддерживается визуализация как поверхностных, так и скважинных систем наблюдения.
    - **Графическое представление:** Датчики визуализируются в виде геометрических примитивов (пирамиды, конусы), отличных от сфер событий, что облегчает чтение сцены.
    - **Информативность:** Возможность отображения меток с именами датчиков и их координатами.
    - **Анализ апертуры:** Визуализация расстановки датчиков позволяет мгновенно оценить геометрию системы наблюдения, апертуру и возможные теневые зоны освещения пласта.
2. **Подземные хранилища газа (ПХГ):**
    - **Контурная визуализация:** Специализированный режим отрисовки границ газовых резервуаров. Объект ПХГ формируется как набор стратиграфических срезов (слоев), описывающих геометрию ловушки.
    - **Детализация:** Система поддерживает сложную топологию хранилищ, восстанавливая контуры на основе радиальных расстояний по сторонам света (север, северо-восток, восток и т.д.) для каждого горизонта.
    - **Мониторинг целостности:** Совместная визуализация контуров ПХГ и микросейсмических событий позволяет решать задачи мониторинга герметичности, выявляя активность в покрышке или за контуром газоносности.

2.2.3 Динамическая окраска и кастомизация сцены

Система визуализации EVApro предоставляет пользователю полный контроль над графическим представлением данных, позволяя адаптировать сцену под конкретные задачи

интерпретации. Механизм кастомизации базируется на принципе разделения данных и их визуальных атрибутов, управляемых через специализированные контроллеры настроек.

- **Гибкая настройка палитр:** Пользователю доступен широкий набор цветовых схем (Ra*inbow, Jet, Grayscale* и пользовательские градиенты). Поддерживается переключение между линейными и логарифмическими шкалами, что критически важно для анализа параметров с большим динамическим диапазоном (например, энергия или *SNR*).
- **Управление прозрачностью:** Настройка альфа-канала для слоев данных (события, структурные поверхности, слайсы) позволяет визуализировать внутреннюю структуру кластеров микросейсмичности и взаимное расположение объектов на разной глубине.
- **Кастомизация элементов окружения:** Возможность независимой настройки цвета, толщины линий и шрифтов для скважин, траекторий, датчиков и подписей, что обеспечивает создание презентационных материалов высокого качества непосредственно в интерфейсе ПО.
- **Фильтрация отображения:** Динамическое скрытие/отображение объектов на основе их статуса (включенные, отмеченные, фоновые) или принадлежности к определенным стадиям ГРП без удаления данных из проекта.

2.2.4 Синхронизированное отображение во времени (timeline).

Модуль временного анализа («Временная шкала») является ключевым инструментом для понимания динамики процесса гидроразрыва пласта. Он реализован как интерактивный компонент, жестко синхронизированный с 3D-сценой и статистическими панелями.

- **Интеграция технологических данных:** Совмещенное отображение на единой временной оси гистограмм активности микросейсмических событий и кривых технологических параметров ГРП (давление закачки, расход жидкости, концентрация проппанта). Это позволяет однозначно связывать всплески сейсмической активности с конкретными технологическими операциями.
- **Синхронная навигация:** Изменение масштаба времени (Zoom), прокрутка или выделение интервала на временной шкале автоматически обновляет фильтр отображения на 3D-сцене. Пользователь видит только те события, которые произошли в выбранный временной промежуток.
- **Визуальный анализ распределений:** Гистограммы событий могут быть раскрашены в соответствии с текущей цветовой схемой проекта, что упрощает визуальную корреляцию временных трендов с пространственными кластерами.
- **Управление воспроизведением:** Функционал «плеера» (Play/Pause) позволяет проигрывать историю развития трещины в ускоренном режиме, визуализируя рост гидравлической трещины в динамике.

2.3 Алгоритмы анализа и интерпретации

2.3.1 Геометрическое моделирование

Для перехода от облака дискретных микросейсмических событий к целостной интерпретационной модели в EVApro включен модуль геометрического моделирования. Этот инструмент позволяет аппроксимировать основную плоскость гидроразрыва пласта (ГРП) с помощью параметризованных эллиптических объектов.

Функциональные возможности модуля:

1. **Создание и конфигурация эллипсов:**
   - ***Интерактивный конфигуратор***: Пользователю доступен специализированный «Конфигуратор эллипсов», позволяющий вводить и изменять все геометрические параметры трещины.
   - **Точка инициации**: Задание центра эллипса в трехмерном пространстве (координаты X, Y, Z), соответствующего, как правило, порту ГРП или точке начала трещинообразования.
2. **Параметры геометрии трещины:**
   - **Азимут простирания**: Определение основного направления роста трещины в горизонтальной плоскости.
   - **Полудлины крыльев трещины**: Независимая настройка полудлин по направлению азимута и в противоположном направлении, что позволяет моделировать асимметричные трещины.
   - **Полувысоты трещины**: Задание вертикальных размеров трещины (вверх и вниз от точки инициации) для оценки ее высоты и контроля выхода за пределы пласта.
3. **Визуальные атрибуты:**
   - Полная кастомизация внешнего вида модельной трещины: выбор сплошной или градиентной заливки, настройка цвета, прозрачности и толщины контура эллипса.
4. **Интеграция в проект:**
   - Созданный эллипс сохраняется как полноценный объект проекта и может быть отображен на 3D-сцене совместно с облаком событий, траекториями скважин и геологическими границами для визуального сопоставления модели с фактическими данными.

2.3.2 Фильтрация: Библиотеки селектов и обработчиков для очистки данных от шумов

EVApro включает мощный модуль селекции данных, предназначенный для препроцессинга и очистки "сырых" микросейсмических каталогов. Архитектура модуля базируется на применении цепочек фильтров, что позволяет комбинировать различные критерии отбора в единый сценарий обработки и сохранять их для повторного использования.

Основные классы селекторов (фильтров):

1. **Геометрическая и пространственная фильтрация:**
    - ***Координатные интервалы*:** Отсечение событий, выходящих за пределы заданного прямоугольного объема (*Bounding Box*) по осям *X, Y, Z*.
    - ***Полигональная фильтрация*:** Сложная выборка событий, попадающих внутрь произвольного замкнутого 3D-многогранника или 2D-контура. Используется алгоритм *Ray Casting* для определения принадлежности точки невыпуклому полигону.
    - ***Фильтрация по резервуарам*:** Специализированный селектор для отбора событий, локализованных внутри геологических тел (например, газовых хранилищ), заданных набором стратиграфических поверхностей.
    - ***Отсечение границ*:** Удаление краевых эффектов ("гало") путем исключения событий, попавших в крайние ячейки расчетной сетки локации.
2. **Атрибутивная фильтрация:**
    - ***Числовые фильтры*:** Универсальный селектор для фильтрации по любому количественному атрибуту события (*Магнитуда, SNR, Misfit, Энергия*). Поддерживаются операторы сравнения (>, <, =, >=, <=) и интервальные условия.
    - ***Типовая фильтрация*:** Отбор событий по классификации типа источника (например, фильтрация только событий сдвигового типа или только взрывов).
3. **Временная селекция:**
    - ***Временные окна*:** Выборка событий, произошедших в заданный календарный период или временной интервал суток (например, фильтрация ночных шумов).
4. **Стохастическая фильтрация:**
    - ***Случайная выборка*:** Прореживание облака событий методом Монте-Карло с заданным коэффициентом отсева. Используется для создания обучающих выборок или визуального облегчения насыщенных сцен.

Возможности управления селектами:

- Создание именованных наборов фильтров с возможностью их включения/отключения "на лету".
- Сохранение конфигурации фильтров в файл проекта, что обеспечивает воспроизводимость результатов обработки.
- Реализация интерфейса, позволяющая динамически изменять параметры фильтрации через GUI без пересоздания объектов.

2.3.3 Пространственный анализ:

2.3.3.1 Построение 2D и 3D срезов (слайсов) с настраиваемыми весовыми функциями

EVApro реализует передовой инструмент пространственного анализа — модуль динамических срезов (*Slices*). Этот функционал позволяет визуализировать распределение плотности событий или любого другого атрибута (*SNR, энергия, магнитуда*) в произвольных плоскостях, пересекающих облако микросейсмических событий.

Функциональные возможности модуля слайсов:

1. **Типы и геометрия срезов:**
    - ***Вертикальные слайсы (Vertical Slices):*** Построение вертикальных плоскостей, заданных координатой (*X, Y*) или азимутом простирания. Идеально подходят для анализа развития трещины ГРП по высоте и длине.
    - ***Горизонтальные слайсы (Horizontal Slices):*** Построение срезов на заданной абсолютной глубине (*Z*) или глубине относительно пласта. Позволяют оценить латеральное распространение трещины и азимутальную асимметрию.
    - ***Произвольная ориентация*:** Поддержка наклонных срезов (*Slope*) для анализа трещин, развивающихся в сложной геологической среде под углом к вертикали.
2. **Алгоритмы интерполяции и расчета плотности:**
    - ***Сетка расчета (Grid Resolution):*** Автоматический (*autoResolution*) или ручной выбор разрешения текстуры среза. Система динамически пересчитывает плотность событий в узлах регулярной сетки, накладываемой на плоскость среза.
    - ***Весовые функции (Weight Functions):*** При расчете значения в узле сетки учитывается вклад событий, попадающих в радиус поиска (*Search Radius*). Пользователь может выбрать математическую модель влияния расстояния на вес события:
        - *Прямоугольная (Rectangle):* Все события в радиусе поиска имеют одинаковый вес.
        - *Треугольная (Triangle):* Линейное уменьшение веса от центра к периферии.
        - *Логарифмическая (Log-Rectangle / Log-Triangle):* Применение логарифмического масштабирования к значениям атрибутов, что позволяет визуализировать слабые сигналы на фоне мощных событий.
    - ***Режимы поиска соседей:*** Поддержка различных метрик расстояния — сферический поиск (3D) или цилиндрический поиск (2D проекция на плоскость) с настраиваемой глубиной поиска (*Search Deep*).
3. **Визуализация и анализ:**
    - ***Тепловые карты (Heatmaps):*** Отображение рассчитанных значений в виде цветных карт с использованием настраиваемых палитр (*Jet, Rainbow* и др.) и шкал прозрачности.

- ***Интерактивность*:** Возможность перемещения плоскости среза в реальном времени ("сканирование" объема) с мгновенным пересчетом отображаемой информации.
- ***Оформление*:** Автоматическая отрисовка контуров среза, координатных сеток и меток значений для подготовки отчетной графики.

4. **Производительность:**
    - Использование оптимизированных алгоритмов пространственного поиска (*Binary Search, k-d tree concepts*) и многопоточной обработки (*parallel streams*) позволяет пересчитывать текстуры высокого разрешения для тысяч событий за доли секунды.

2.3.3.2 Расчет полей отношения сигнал/шум (SNR3D)

EVApro включает специализированный модуль для визуализации и анализа объемных полей отношения сигнал/шум (*Signal-to-Noise Ratio*), рассчитываемых в процессе локации событий. В отличие от стандартных слайсов плотности, данный инструмент работает с предобработанными 3D-матрицами (*snrMatrix*), характеризующими качество локации в каждой точке исследуемого объема.

Функциональные возможности модуля SNR3D:

1. **Агрегация данных:**
    - ***Суммирование полей*:** Автоматическое суммирование матриц SNR от отдельных событий для построения интегральной карты качества ("светового пятна") локации. Это позволяет выделить зоны с максимальной достоверностью обнаружения микросейсмической активности.
    - ***Поддержка многомерных массивов*:** Обработка исходных данных в формате 3D-массивов (*double[][][]*), привязанных к доменам *X, Y, Z*.
2. **Интерполяция и сглаживание:**
    - ***Бикубическая интерполяция (Bicubic Interpolation)*:** Для построения плавных срезов по дискретной сетке *SNR* используется алгоритм бикубической интерполяции. Это обеспечивает высокое качество визуализации даже при низком разрешении исходных матриц.
    - ***Гауссово размытие (Gaussian Blur):*** Применение фильтра свертки (*ConvolveOp*) к генерируемым текстурам срезов для устранения артефактов дискретизации и улучшения визуального восприятия тепловых карт.
3. **Визуализация срезов SNR:**
    - ***Ортогональные проекции*:** Построение срезов поля *SNR* в плоскостях, перпендикулярных осям *X, Y* или *Z (sliceLocation).*
    - ***Динамическое разрешение:*** Адаптация разрешения текстуры среза в зависимости от размеров области данных с возможностью повышения детализации (*resolutionFactor*).

- ***Интеллектуальная обрезка (Smart Cropping):*** Автоматическое кадрирование изображений срезов (*getCutedImage*) для исключения пустых областей и фокусировки на зоне с данными, что оптимизирует использование видеопамяти.

4. **Аналитика:**
    - Позволяет верифицировать результаты локации, сопоставляя положение событий с максимумами функции правдоподобия (функции когерентности).

2.3.3.3 Расчет стимулированного объема пласта (SRV)

Для оценки эффективности гидроразрыва пласта EVApro реализует алгоритм расчета стимулированного объема резервуара (*Stimulated Reservoir Volume — SRV*). Данная метрика является ключевым индикатором площади контакта трещины с породой и коррелирует с будущей добычей скважины.

Методика расчета:

- **Воксельная модель:** Облако микросейсмических событий дискретизируется в трехмерную сетку ячеек (*вокселей*). Размер вокселя настраивается пользователем в зависимости от требуемой точности и погрешности локации событий.
- **Оценка связности:** Система определяет активные ячейки, содержащие события с атрибутами, превышающими заданный порог (например, *амплитуда* или *SNR*).
- **Расчет объема:** Итоговый *SRV* вычисляется как сумма объемов всех активных *вокселей*. Алгоритм позволяет исключать изолированные "шумовые" события, не формирующие связную сеть трещин.
- **Визуализация:** Результат расчета может быть визуализирован в 3D-сцене в виде полупрозрачных кубов («*блочная модель*»), наложенных на облако событий, что позволяет наглядно оценить геометрию зоны дренирования.

2.3.4 Статистический анализ

2.3.4.1 Построение гистограмм распределения свойств

Модуль статистического анализа EVApro предоставляет инструменты для количественной оценки характеристик микросейсмичности. Реализованная архитектура обеспечивает двустороннюю связь между статистическими графиками и 3D-сценой: выделение области на гистограмме автоматически подсвечивает соответствующие события в пространстве.

Ключевые возможности статистического модуля:

1. **Построение гистограмм распределения свойств:**

- ***Универсальный анализ атрибутов*:** Автоматическое построение частотных распределений для любого числового атрибута события (*магнитуда, энергия, падение напряжения, SNR и др*.).
- ***Временные гистограммы (Time Histograms*):** Специализированный режим для анализа интенсивности событий во времени (количество событий в час/минуту). Поддерживается работа с различными временными зонами и высокоточным временем (до миллисекунд).
- ***Настройка бинирования*:** Гибкое управление параметрами гистограммы:
  - Задание количества интервалов (*бинов*) или шага дискретизации.
  - Фильтрация выбросов (*Reject Out Of Range*).
  - Учет глубины: возможность построения распределений относительно абсолютной глубины (*TVDss*) или глубины по стволу (*MD*).

2. **Интерактивное взаимодействие:**
   - ***Селекция на графике:*** Пользователь может кликнуть на столбец гистограммы (или выбрать группу столбцов с зажатым Ctrl), чтобы выделить соответствующие события во всех окнах программы. Реализован механизм обратного маппинга (*makeEventMasks*), связывающий бины гистограммы с ID событий.
   - ***Режимы работы курсора:*** Переключение между режимом масштабирования (*Zoom*) и режимом выбора (Selection) для удобной работы с плотными распределениями.
3. **Визуализация и оформление:**
   - ***Сравнительный анализ:*** Возможность наложения гистограмм для разных стадий ГРП или разных скважин на одном графике для визуального сравнения статистик.
   - ***Кастомизация*:** Полная настройка внешнего вида графиков (шрифты осей, цвета серий, сетка, легенда) через панель свойств, что позволяет готовить графики к печати без сторонних редакторов.

2.3.4.2 Анализ азимутальной направленности трещин (Розы-диаграммы)

Для выявления доминирующих направлений развития трещин ГРП и оценки геомеханического состояния пласта (ориентации главных напряжений) в EVApro реализован специализированный инструмент построения полярных диаграмм («роз»). Модуль поддерживает работу с циклическими данными и обеспечивает корректный статистический анализ угловых величин.

Функциональные возможности модуля роз-диаграмм:

1. **Типы диаграмм:**
   - ***Роза азимутов (Azimuth Rose):*** Классическая круговая гистограмма, отображающая распределение азимутов простирания плоскостей разрыва (для

событий с рассчитанным фокальным механизмом) или векторов смещения. Позволяет быстро оценить главное направление трещины.

- ***Роза направлений (Direction Rose):*** Продвинутый инструмент для анализа пространственного распределения облака событий ("вытянутости" кластера). Направление рассчитывается на основе геометрических взаимосвязей между событиями, что позволяет определить азимут трещины даже без данных о фокальных механизмах.

2. **Методы расчета направлений:**
    - ***Попарный анализ (By Events):*** Анализ всех возможных пар событий внутри выборки. Каждая пара формирует вектор, направление которого учитывается в статистике. Этот метод наиболее чувствителен к линейным структурам.
    - ***Относительно центра масс (By Center of Mass):*** Расчет азимутов векторов, соединяющих каждое событие с геометрическим центром кластера. Поддерживается взвешивание событий по атрибутам (например, более мощные события сильнее влияют на положение центра).
    - ***Относительно устья/порта (By Port):*** Анализ направлений распространения событий от точки инициации трещины (порта ГРП).
3. **Параметры построения:**
    - ***Симметрия*:** Опция *Symmetric* позволяет строить двунаправленные розы (0-360° или 0-180°), учитывая физическую природу трещины (трещина простирается в обе стороны).
    - ***Весовые функции:*** Возможность учета расстояния между событиями или магнитуды при накоплении статистики в угловых секторах.
    - ***Управление секторами:*** Настройка ширины углового бина (например, 10° или 15°) для детализации диаграммы.
4. **Интерактивная селекция:**
    - Поддержка выделения секторов на полярной диаграмме (*PolarPlot*). Клик по "лепестку" розы выделяет все события, формирующие данное направление, на 3D-сцене, что позволяет визуально проверить корректность выделенного азимута.

2.3.4.3 Классификация типов разрушения (диаграммы Гудзона / Hudson plot)

EVApro предоставляет продвинутый инструментарий для анализа механизма очага микросейсмических событий, основанный на декомпозиции тензора сейсмического момента.

Этот модуль позволяет геофизикам классифицировать природу разрушения породы (сдвиг, растяжение, сжатие) и оценивать вклад не-сдвиговых компонент в процесс роста трещины.

Функциональные возможности модуля классификации:

1. **Диаграмма Гудзона (Hudson Plot):**
    - ***Расчет параметров:*** Автоматическое вычисление параметров T*T* и k*k* (или координат u*u*, v*v*) на основе собственных чисел тензора момента.
    - ***Визуализация:*** Построение специализированного графика в координатах Гудзона, где различные области соответствуют разным типам источника:
        - Центр диаграммы: чистый сдвиг *(Double Couple — DC).*
        - Верхняя/нижняя точки: изотропное расширение/сжатие (*Explosion/Implosion*).
        - Края ромба: линейный диполь (*CLVD*).
    - ***Кластеризация:*** Визуальное разделение событий на группы: трещины разрыва (Tensile Crack), сдвиговые смещения и события смешанного типа.
2. **Анализ параметров трещиноватости (Fracture Analysis):**
    - ***Собственные числа и векторы:*** Расчет главных направлений и величин осей эллипсоида деформации для кластера событий (*EvAStatsFractureData*).
    - ***Ориентация:*** Оценка углов падения и азимутов простирания плоскостей разрушения на основе статистического анализа тензоров моментов группы событий.
3. **Интеграция с интерпретацией:**
    - ***Селекция по типу:*** Возможность выделения событий определенного типа разрушения непосредственно на диаграмме Гудзона (например, выбрать только события «раскрытия трещины») с автоматической подсветкой их положения в 3D-сцене. Это позволяет локализовать зоны активного роста трещины ГРП в отличие от зон сдвиговой реактивации естественных трещин.
    - ***Кастомизация:*** Настройка отображения диаграммы, включая сетку классификации (линии постоянных значений *DC/ISO/CLVD*), цвета маркеров и легенду.

2.3.4.4 Кросс-корреляционный анализ параметров (Кросс-плоты)

Для выявления скрытых закономерностей и зависимостей в массивах микросейсмических данных EVApro реализует модуль построения кросс-плотов (*Scatter Plots*). Инструмент позволяет визуализировать взаимное распределение любых двух атрибутов события, что критически важно для контроля качества данных (*QA/QC*) и петрофизической интерпретации.

Функциональные возможности модуля кросс-плотов:

1. **Построение зависимостей:**

- ***Произвольные пары атрибутов:*** Пользователь может выбрать любые два параметра события (например, «*Магнитуда vs Расстояние*», «*Амплитуда P-волны vs Амплитуда S-волны*», «*Время vs Глубина*») для осей X и Y.
- ***Поддержка временных осей:*** Корректная работа с атрибутами типа *Date/Time*. Это позволяет строить графики развития параметров во времени (например, рост давления или магнитуды по ходу закачки).

2. **Инструменты селекции и анализа:**
   - ***Инструменты выделения (Selection Tools):*** Реализован богатый набор инструментов для графического выделения областей интереса (*ROI*) на кросс-плоте:
     - *Прямоугольное выделение* (*Rectangle*): Быстрый отбор диапазонов значений.
     - *Полигональное лассо* (Close Curve/Lasso): Выделение кластеров сложной формы.
     - *Линейное выделение (*Line*):* Отбор событий вдоль трендов.
   - ***Сквозная синхронизация:*** События, попавшие в выделенную на кросс-плоте область, мгновенно подсвечиваются на 3D-сцене и других статистических графиках. Это позволяет, например, выделить на кросс-плоте «*Магнитуда vs Расстояние*» аномальные события и увидеть их локализацию в пласте.
   - ***Инверсия выделения:*** Возможность исключения выбранной группы из анализа.
3. **Визуализация и управление:**
   - ***Многослойность:*** Одновременное отображение данных из нескольких выборок или стадий ГРП на одном графике с использованием различных маркеров (цветов, форм) для визуального сравнения.
   - ***Настройка осей*****:** Полный контроль над параметрами осей (логарифмический/линейный масштаб, диапазоны, форматирование дат и чисел, шрифты).
   - ***Кастомизация маркеров:*** Настройка размера, формы (ромб, круг и др.) и цвета точек данных для улучшения читаемости графика при большом количестве событий.

2.4 Экспорт и интеграция

2.4.1 Выгрузка результатов интерпретации

EVApro предоставляет развитый механизм экспорта результатов интерпретации для последующей обработки во внешних программных комплексах (в том числе *MATLAB*-ориентированных пакетах, таких как *GRPAnalysis*).

Функциональные возможности экспорта событий:

- ***Экспорт выборок событий в формат MAT (MATLAB v5.0):*** Модуль формирует специализированный *.*mat*-файл со структурой, совместимой с *GRPAnalysis*:

- **Раздел *map/av*** содержит домены и шаги сетки по осям *X, Y, Z (DOMAIN_X/Y/Z)* и вспомогательные параметры.
- ***Раздел map/base*** содержит свойства каждого события:
  - *Координаты события (X, Y, Z, GLOBAL_X/Y/Z, R, RZ, TVDss и др.).*
  - *Временные метки в численном и текстовом виде.*
  - *Матрицы тензора сейсмического момента (M, W_MATRIX, V_MATRIX).*
  - *3D-поля отношения сигнал/шум (SNR_XY).*
  - *Классификация типа события* (структура *ev_type* с текстовым и численным представлением).
- Поддерживается как прямое формирование **.mat*-файла, так и режим модификации существующего файла *GRP* (копирование, замена групп *av/base*, очистка вспомогательных полей).

- ***Гибкость состава экспортируемых полей*:** Набор выгружаемых параметров формируется на основе конфигурации *ExportProperty*, что позволяет при необходимости расширять экспорт без изменения основного кода.
- ***Экспорт свойств выборок в формат CSV.***

Модуль формирует специализированный *.csv – файл, в котором хранятся значения полей выборок событий. Доступен экспорт в различных форматах (простой таблицы, LAS-подобного файла)

2.4.2 Экспорт графических материалов и анимации вращения сцены

Для подготовки отчетов, презентаций и архивирования результатов интерпретации EVApro реализует средства экспорта графической информации высокого качества.

Статичные графические материалы:

- **Скриншоты 3D-сцены и временных графиков:**
  - Экспорт изображений пространственной сцены и временной шкалы в форматах PNG (3D и Time-графика) и SVG (статистические графики).
  - Пользователь может задать требуемое разрешение (в пикселях) и DPI. Модуль EvaSceneContainer формирует изображение с корректно записанными метаданными DPI, что обеспечивает масштабируемость при вставке в документы и печати.
- ***Скриншоты статистических графиков:*** Статистические окна (гистограммы, розы, Hudson plot, кросс-плоты) экспортируются напрямую через метод screenshot() соответствующих графических модулей с сохранением всех подписей и легенд.

Анимация вращения сцены и видеозапись:

- **Запись видео с экрана (MP4):**
    - Модуль *ScreenRecorder* обеспечивает запись динамики работы интерпретатора (вращение 3D-сцены, включение/выключение слоев, прокрутка по времени) в виде файла формата MP4.
    - Видеозапись осуществляется через последовательный захват скриншотов рабочего окна (*Robot*) с заданной частотой кадров (по умолчанию 30 fps) и последующей их сборкой с использованием *FFmpeg* (*FFmpegFrameRecorder*).
- **Гибкость настроек записи:**
    - Пользователь выбирает путь и имя файла, частоту кадров и область захвата (прямоугольник, соответствующий окну сцены).
    - Поддерживаются старт/стоп записи с панели управления, а также автоматическое закрытие ресурсов по окончании записи.

Такой набор средств экспорта позволяет бесшовно интегрировать результаты работы EVApro в существующие корпоративные процессы обработки данных, документооборота и отчетности.

3 ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКИМ СРЕДСТВАМ

Для обеспечения стабильной и производительной работы ПО EVApro, особенно при визуализации насыщенных 3D-сцен и расчете объемных атрибутов, аппаратное и программное обеспечение компьютера должно соответствовать следующим требованиям:

3.1 Минимальные системные требования

- **Процессор (CPU):** Многоядерный процессор (Intel Core i5 / AMD Ryzen 5 или выше) с тактовой частотой не менее 2.5 ГГц.
- **Оперативная память (RAM):** 8 ГБ (рекомендуется 16 ГБ и выше для работы с большими массивами данных).
- **Видеокарта (GPU):** Дискретная видеокарта с поддержкой OpenGL 3.0 и выше (NVIDIA GeForce GTX 1050 / AMD Radeon RX 560 или аналогичные профессиональные решения). *Примечание: Работа на интегрированных графических адаптерах возможна, но может приводить к снижению производительности рендеринга 3D-сцены.*
- **Дисковое пространство:** Не менее 1 ГБ свободного места для установки ПО и библиотек; дополнительное место для хранения файлов проектов (*.evap) и кэша.
- **Дисплей:** Монитор с разрешением 1920x1080 (Full HD).

3.2 Программное окружение

- **Операционная система:**
  - Microsoft Windows 10/11 (64-bit).
  - Linux (с установленной графической оболочкой X Window System).
- **Среда выполнения:** Java Runtime Environment (JRE) версии 1.8 или выше (для запуска Java-приложения).
- **Дополнительные библиотеки:** В состав дистрибутива ПО включены необходимые нативные библиотеки для работы с графикой (JOGL/JZy3D), видео (FFmpeg/JavaCV), HDF5 и математических вычислений (Apache Commons Math, ojAlgo). Установка сторонних драйверов, кроме драйвера видеокарты, не требуется.