

УДК 004:550.34

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Великий В.А., студент гр. ПИМ-221, 2 курс магистратуры
Федоров С.О., студент гр. ПИМ-221, 2 курс магистратуры
Научный руководитель: Гиниятуллина О.Л., к. т. н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Современный сейсмический мониторинг представляет собой комплекс работ, направленных на регистрацию, обработку и анализ сейсмических сигналов естественного и техногенного происхождения. Он совмещает в себе высокотехнологичные решения в области аппаратно-программного обеспечения, методов регистрации движения массива и способов обработки зафиксированной информации [1]. Качественная интерпретация результата анализа данных позволяет наиболее эффективно реагировать на возможные риски, связанные с последствиями от сейсмических воздействий.

На сегодняшний день во многих регионах мира стоит задача усиления сейсмического мониторинга. Причиной этому является несколько факторов, среди которых можно выделить следующие:

- актуальность задачи повышения безопасности регионов с выраженной сейсмической активностью;
- увеличение сейсмической опасности при проведении работ, связанных с недропользованием, на труднодоступных территориях;
- повышение риска террористической опасности вокруг нефте- и газопроводов федерального и международного значения, а также на территории добывающих и транспортирующих районов нефтегазовой промышленности.

Для эффективного решения поставленных проблем производится модернизация как аппаратных, так и программных компонентов. Общая структура современной системы сейсмического мониторинга [2] представлена на рисунке 1. Исходя из данной схемы, основные аппаратные компоненты системы сейсмического мониторинга можно разделить на три группы:

- измерительные приборы, формирующие сейсмические данные для дальнейшей обработки;
- средства передачи этих данных в центр обработки;
- аппаратные системы, на которых реализуется программный комплекс обработки данных.

С другой стороны, программные компоненты также делятся на группы:

- модули сбора данных;
- система баз данных;

- модули обработки данных;
- модули обмена данными с пользователями программной системы.

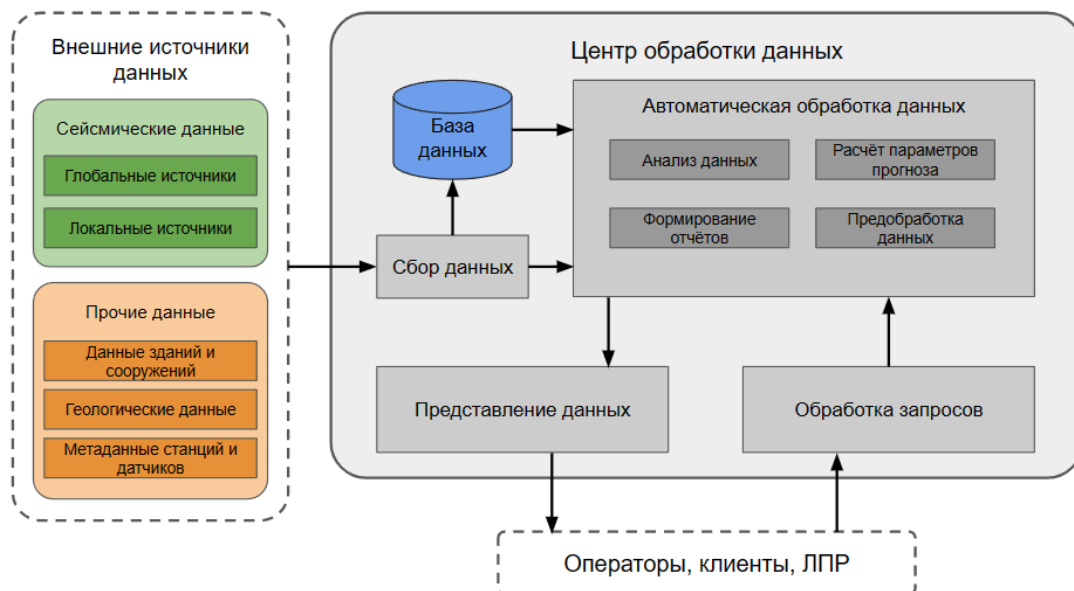


Рисунок 1. Схема компонентов систем сейсмического мониторинга

Сейсмические датчики являются неотъемлемой частью сейсмического мониторинга. Регистраторы сейсмических сигналов применяются автономно или в составе автоматизированных систем мониторинга для проведения сейсмических и сейсмологических исследований [1] методами преломлённых, отражённых волн и глубоководного сейсмозондирования (МОВ, МПВ, ГСЗ) от искусственных и от естественных источников, методами обменных волн землетрясений (МОВЗ), а также при инженерно-геологических изысканиях. Современные устройства способны выполнять цифровизацию полученных данных, а также хранить на локальных носителях и передавать по часто используемым интерфейсам: CAN, Ethernet, USB и др. Различные измерительные датчики, имеющие перечисленные особенности, разрабатываются в России [1], что может говорить о возможности обеспечения российского сейсмического мониторинга современным оборудованием собственного производства и как следствие технологической независимости.

На сегодняшний день международная федерация сетей цифровых сейсмографов (FDSN) объединяет членов разного формата и форм собственности в профессиональные группы (в разных странах), обслуживание сейсмографов отлажено как в пределах конкретных географических границ, так и по всему миру. Это способствует продолжающимся исследованиям глобальной сейсмической активности Земли, в частности, в местах, где требуется обеспечить повышенную безопасность ввиду нахождения там критической инфраструктуры или её элементов: тоннелей, мостов, путепроводов, высотных зданий, аэродромов, атомных станций, шахт базирования военной техники, газо- и нефтепроводов.

Таким образом, наблюдается унификация измерительных датчиков в области формирования выходных данных, что позволяет разработать универсальные решения по дальнейшей транспортировке и обработке данных, совместимые с множеством современных датчиков.

Проблема организации эффективной сети передачи сейсмической информации между станциями и центром обработки данных характерна не только для сферы сейсмического мониторинга, но и для любого мониторинга. Развитие сетевых технологий позволяет решить эту проблему, что наблюдается в опыте реализации систем мониторинга в регионах с повышенной сейсмической активностью [3]. Можно выделить такие аспекты в этом направлении, как: внедрение резервных каналов связи, способствующих отказоустойчивости сети; внедрение высокопроизводительных кластеров, позволяющих совершать буферизацию данных, организовывать сети группового потока, позволяющие получать оперативный доступ ко всем данным без значительных задержек.

Постоянное развитие в области вычислительных устройств также позволяет реализовать сложные алгоритмы обработки данных в программных комплексах без существенной потери точности и скорости вычислений. Например, увеличение мощности центральных процессоров позволяет обрабатывать большое число запросов клиентов системы в многопоточном режиме, а развитие графических процессоров позволяет оперативно обрабатывать массивы, в число которых можно отнести измерения датчиков.

Таким образом, в настоящее время наблюдается доступность аппаратных компонентов, составляющих современные системы мониторинга, а также их постоянное развитие, способствующее увеличению скорости и точности сбора, передачи и обработки данных.

Развитие программных комплексов для сейсмического мониторинга также включает как реализацию новых алгоритмов для решения существующих задач, так и повышение функциональности и удобства для пользователя.

На текущий момент существует большое число программных продуктов для автоматической обработки и интерпретации сейсмических данных. Недостаток внедрения подобных систем для организаций, занимающихся исследовательской деятельностью в области сейсмического мониторинга, заключается в неудобстве или невозможности модификации продукта, в особенности если продукт имеет проприетарную лицензию. Модификация необходима для реализации следующих задач:

- устранение несовместимости в форматах и структурах входных данных для автоматического сбора данных;
- изменение набора программных модулей с целью добавления новых или усовершенствования имеющихся;
- реализация новых выходных отчетов и изменение пользовательского интерфейса.

Одной из таких организаций является Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела – межотраслевой научный

центр «ВНИМИ», миссия которого заключается в оказании партнёрам и заказчикам профессиональных услуг по обеспечению промышленной безопасности в области геомеханики и маркшейдерского дела с постоянным ростом научно-исследовательского уровня. Разрабатывая собственное оборудование, ВНИМИ может столкнуться с несовместимостью форматов входных и выходных данных сторонних продуктов. Кроме того, разработка уникальных методик обработки сейсмической информации требует от программного комплекса гибкости и устойчивости при модификации программных модулей.

Таким образом, для ВНИМИ, уже имеющей собственную систему мониторинга, в случае возникновения необходимости во внедрении новых алгоритмов обработки данных наиболее эффективным решением является реализация собственных программных компонентов, отвечающих поставленным целям и доступных для модификации.

Анализ развития современного сейсмического мониторинга позволяет выделить как общие аспекты для всех систем, выражающиеся в наборе общих компонентов (представлены на рисунке 1), так и аспекты индивидуальные, зависящие от различных факторов, что было отмечено на примере ВНИМИ. Следовательно, несмотря на невозможность создания универсального программно-аппаратного комплекса, целесообразно разработать платформу, представляющую решение типовых задач, а также возможность расширения функциональности без высоких трудозатрат. И если набор аппаратных компонентов может варьироваться в зависимости от ситуации на рынке и развития технологий сбора и передачи данных, то формирование устойчивой программной базы позволит сэкономить ресурсы при реализации крупной системы мониторинга, так как становится возможным заранее отработать реализуемые программные модули и устранить возможные проблемы в комфортных условиях прототипирования.

Исходя из этого, принято решение разработать такой программный комплекс для сейсмического мониторинга, который позволит выполнить описанные выше задачи тестирования и отладки компонентов. В дальнейшем планируется внедрение компонентов разрабатываемого решения в программный комплекс сейсмического мониторинга ВНИМИ. Для достижения поставленной цели поставлены следующие задачи:

1. выполнить анализ программных систем сейсмического мониторинга, выделить общие и различающиеся аспекты и составить основные требования к таким системам;
2. сформировать архитектуру разрабатываемого программного комплекса, отвечающую поставленным требованиям;
3. выполнить разработку программного комплекса в соответствии с архитектурой, провести тестирование программных модулей на реальных данных и выделить возможные проблемы.

Сформированы требования к программному комплексу для сейсмического мониторинга, направленному на решение описанных в предыдущих разделах проблем.

В первую очередь, программный комплекс должен реализовать основные задачи сейсмического мониторинга, а именно сбор, обработку и представление данных (рисунок 1). Таким образом, функциональными требованиями являются следующие:

- для модуля сбора данных:
 - возможность организации связи с источниками сейсмических и прочих данных, необходимых для дальнейшей автоматической обработки;
 - автоматическая выгрузка данных из связанных источников при возможности;
 - возможность ручного ввода данных в случае, если автоматическая невозможна;
 - возможность сохранения выгруженных данных в локальном источнике для их повторного использования;
- для модуля обработки данных:
 - наличие алгоритмов обработки данных в соответствии с поставленными задачами сейсмического мониторинга;
 - формирование результатов обработки в виде, принимаемом модулем представления;
 - возможность внедрения новых подмодулей для расширения функциональности системы без необходимости редактирования существующих;
- для модуля представления данных (пользовательского интерфейса):
 - отображение результатов сбора и обработки данных в виде отчётов, графиков, таблиц и т.п.
 - возможность конфигурирования процессов, проводимых модулями сбора и обработки данных.

Для надёжности и работоспособности создаваемого программного комплекса необходимо выполнение следующих требований:

- валидация входных данных, как поступающих из внешних систем в модуль сбора, так и поступающих в отдельный модуль из другого;
- защита программных модулей и хранилища данных от несанкционированного доступа;
- ведение отчётов о работе модулей для отслеживания исключительных ситуаций;
- отслеживание состояния связи с источниками данных и оповещение пользователей системы в случае потери связи;
- соответствие времени работы отдельных процессов поставленным рамкам.

Стоит отметить, что требования к функциональности отдельных подмодулей обработки данных формируются в зависимости от задач, поставленных организатором сейсмического мониторинга. Для программного комплекса, разрабатываемого в рамках текущей исследовательской работы, поставлены следующие требования к набору подмодулей автоматической обработки данных:

- анализ и классификация сейсмических сигналов;
- определение координат эпицентра сейсмического события;
- расчёт сейсмичности;
- расчёт сейсмического воздействия.

В соответствии с поставленными выше требованиями сформирован набор модулей, составляющих архитектуру системы (рисунок 2).

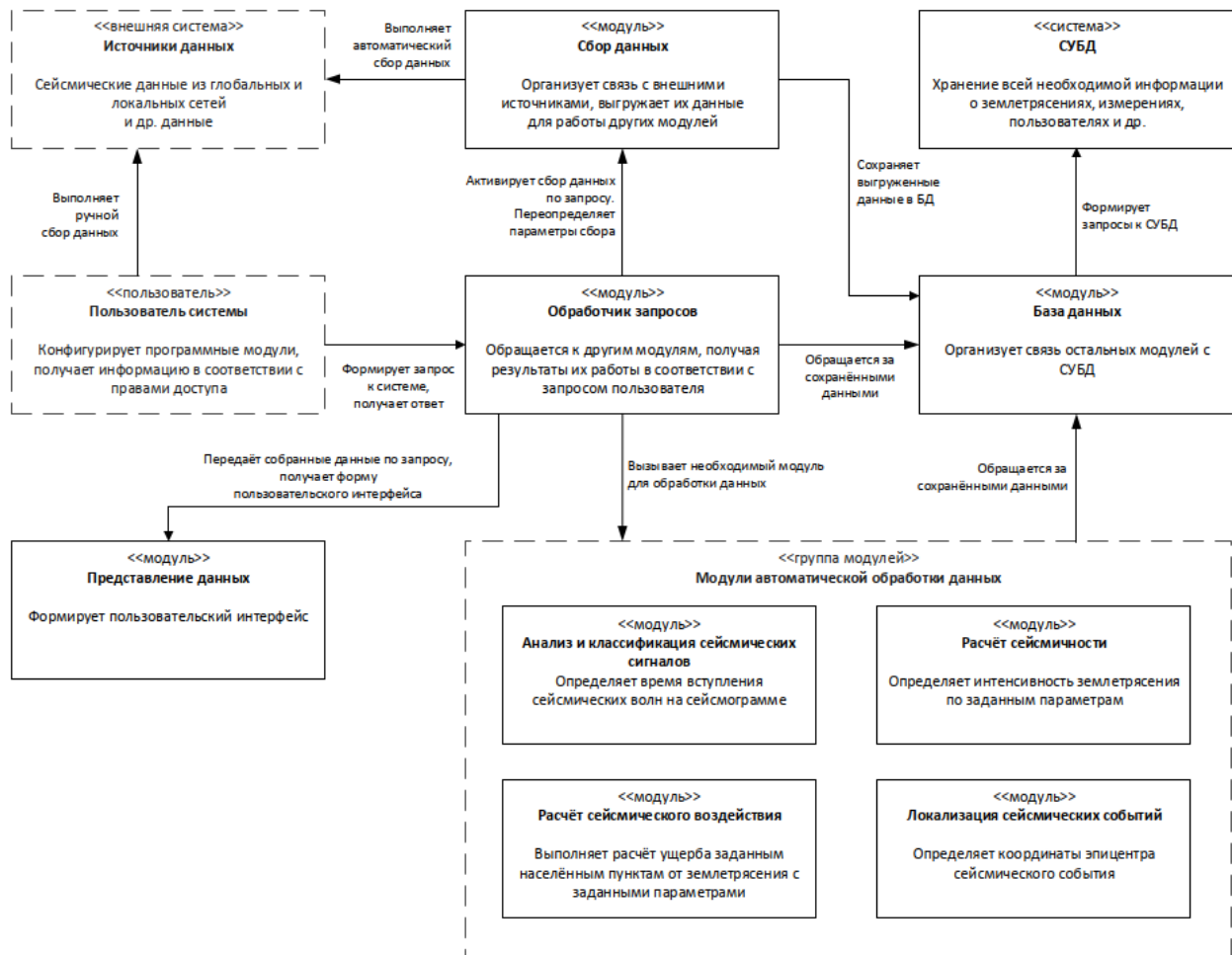


Рисунок 2. Схема компонентов программного комплекса сейсмического мониторинга

- В соответствии со схемой система содержит следующие компоненты:
- модуль сбора данных;
 - модуль базы данных;
 - СУБД;
 - модули автоматической обработки данных:
 - модуль анализа и классификации сейсмических сигналов;
 - модуль локализации сейсмических событий;
 - модуль расчёта сейсмичности;
 - модуль расчёта сейсмического воздействия;
 - модуль обработчика запросов;
 - модуль представления данных.

Модуль сбора данных предназначен для обращения к внешним источникам данных и выгрузки необходимой информации для дальнейшей обработки. Источниками могут являться как API различных сервисов, так и загруженные вручную данные. Данный модуль также отвечает за проверку соответствия структуры данных предполагаемой с целью устранения проблем с сохранением данных в БД и использования их в работе других модулей.

Модуль базы данных является прослойкой между всеми модулями системы и используемой СУБД. Модуль определяет интерфейс для получения, сохранения, изменения и удаления данных, благодаря чему возможно скрыть нежелательные операции с данными в БД и отклонить ошибочные. Кроме того, при изменении СУБД необходимо переписать только модуль базы данных без затрагивания остальных модулей, так как интерфейс остаётся тем же.

СУБД также является неотъемлемым компонентом системы ввиду необходимости сохранения в местном хранилище выгруженных извне данных различных сущностей, расчётов модулей для проведения дальнейшего анализа и т.д.

Модули автоматической обработки данных представляют собой набор функций, сгруппированных по той задаче, к которой относится конкретная функция. В разрабатываемом программном комплексе определено четыре модуля автоматической обработки данных, относящиеся к типовым задачам сейсмического мониторинга: детекция сейсмического события и расчёт его параметров.

Модуль анализа и классификации сейсмических сигналов предназначен для выполнения задачи обнаружения сейсмической волны среди записей колебаний грунта [4]. Правильное определение времени вступления волны на сейсмограмме влияет на дальнейшие расчёты координат очага и магнитуды землетрясения.

Модуль локализации сейсмических событий предназначен для расчёта координат очага землетрясения [5] по результатам работы предыдущего модуля. Точность определения координат зависит от количества сейсмостанций, на которых зафиксировано время вступления сейсмических волн, от расположения станций, а также от качества определения вступлений.

Модуль расчёта сейсмичности предназначен для расчёта интенсивности землетрясения – важного параметра, определяющего силу землетрясения в определённой точке [6].

Модуль расчёта сейсмического воздействия предназначен для предварительной оценки степени разрушения конструкций от сейсмического события заданной интенсивности. Так как здания и сооружения обладают определённой сейсмостойкостью – максимальным значением интенсивности землетрясения, при котором здание не понесёт значительных потерь – есть возможность рассчитать ущерб от сейсмических событий [6].

Модуль обработчика запросов предназначен для вызова команд остальных модулей с целью обработки и получения результирующих данных, кото-

рые требует пользователь системы. Запрос на выполнение определённого действия, сформированный в пользовательском интерфейсе, отправляется на обработку в данный модуль, а результат обработки возвращается в пользовательский интерфейс. Кроме того, данный модуль выполняет функцию проверки соответствия отправленного пользователем запроса на соответствие требуемой структуре.

Модуль представления данных составляет набор шаблонов и команд для формирования элементов пользовательского интерфейса в зависимости от входных данных, настроек системы, прав пользователя и т.д. Функции для составления конкретной формы вызываются модулем обработчика запросов.

Таким образом, в рамках данной работы сформирована архитектура программного комплекса, отвечающая требованиям системы сейсмического мониторинга. Дальнейшая работа направлена на программную реализацию описанных модулей, а также проведение работ по их тестированию и отладке.

Список литературы

1. Суомалайнен А. Электронные системы фиксации сейсмической активности, сейсмометры, геофоны и датчики в системах контроля и безопасности [Текст] / Суомалайнен А. // Современная электроника. — 2023. — № 7. — С. 30-38.
2. Мониторинг естественной и наведённой сейсмичности // ООО "Геофизические технологии" : [сайт]. — URL: <https://geophystech.ru/services/seismic-monitoring-system/> (дата обращения: 15.03.2024).
3. Чебров Д.В., Тихонов С.А., Дроздин Д.В., Дроздина С.Я., Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Салтыков В.А., Сеньюков С.Л., Серафимова Ю.К., Сергеев В.А., Ящук В.В. Система сейсмического мониторинга и прогнозирования на Камчатке и её развитие. Основные результаты наблюдений в 2016—2020 гг. // Российский сейсмологический журнал. — 2021. — Т. 3, № 3. - С. 28-49. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.3.02>
4. Машинное обучение в сейсмологии // Хабр : [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/articles/587690/> (дата обращения: 15.03.2023).
5. Г.К. Асланов, Т.Г. Асланов. Определение координат гипоцентра землетрясения методом окружностей. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48(3): 52-58. B01:10.21822/2073-6185-2021-48-3-52-58
6. Чудинова О. Н., Чередова Т. В., Бутакова А. А., Воронина Ю. С. Прогнозирование последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: учеб. пособие. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2022. – 88 с. ISBN 978-5-907599-30-7