

Проектирование информационной системы определения деструктивных изменений углепородного массива*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-11-113-119>

В статье рассмотрен один из проектов по цифровизации угольной промышленности - проектирование информационной системы для нахождения дизъюнктивных нарушений горных пород, характеризующихся наличием разломов в структуре углепородного массива, на основе результатов проведения сейсморазведочных работ. Использование предлагаемой информационной системы позволит превентивно определять наличие подобных разломов для принятия управленческих решений в целях обеспечения безаварийной, высокопроизводительной работы угольного предприятия. На основе получаемых результатов угледобывающий процесс мог бы подвергнуться корректировке, что положительно скажется на эффективности и безопасности работы механизированного комплекса. В статье представлена структура специализированной геоинформационной системы, включающей в себя такой набор модулей, как: модуль вычисления сейсмических характеристик, модуль 3D-визуализации, модуль анализа данных при помощи нейронной сети и модуль генерации отчетов, а также описаны их функциональность и принцип работы. Затем функциональность системы была конкретизирована при помощи построения диаграммы потоков данных, которая позволила отобразить порядок обработки данных, поступающих в систему. В результате была спроектирована модель базы данных системы и построена ER-диаграмма, которая детализирует сущности, используемые системой для хранения как входных данных, так и данных, полученных в результате работы системы и их связи друг с другом. На основе запросов пользователя имеется возможность формирования отчетов в желаемом виде.

Ключевые слова: геоинформационная система, цифровизация угольной промышленности, проектирование систем, сейсморазведка, дизъюнктивные нарушения.

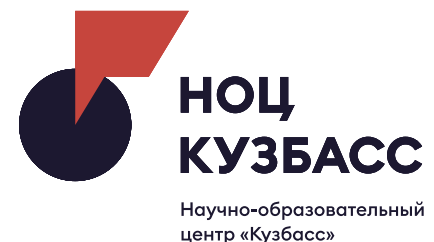
Для цитирования: Степанов И.Ю. Проектирование информационной системы определения деструктивных изменений углепородного массива // Уголь. 2023. № 11. С. 113-119. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-11-113-119.

ВВЕДЕНИЕ

Горнодобывающая промышленность вносит существенный вклад в экономику Российской Федерации. При этом большие объемы добычи полезных ископаемых, в частности угля, обязывают компании, занятые в данной отрасли, уделять повышенное внимание вопросам безопасности и экономической эффективности своей деятельности. В ходе прикладного взаимодействия с предприятиями угледобывающей промышленности в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и вне-

СТЕПАНОВ И.Ю.

Аспирант Кемеровского государственного университета, 650000, Россия, Кемерово, e-mail: zextel1995@gmail.com



* Работа выполнена в рамках соглашения № 075-15-2022-1195 от 30.09.2022, заключенного между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Кемеровский государственный университет»

дрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 № 1144-р, номер соглашения 075-15-2022-1195 от 30.09.2022, а также в ходе решения задач по цифровизации отдельных процессов их работ выявлена потребность в визуализации и предиктивном выявлении дизъюнктивных нарушений пластов горных пород, которые оказывают прямое негативное влияние на безопасность и экономическую эффективность процесса добычи угля. Дизъюнктивные нарушения горных пород возникают вследствие тектонических движений, которые приводят к нарушению сплошности залегания углепородных пластов. Подобные разрывы сплошности тектонического строения могут принимать форму сбросов, взбросов, надвигов и сдвигов. Сбросы и взбросы характеризуются вертикальным направлением разрыва пласта, при этом при возникновении сброса лежачее крыло пласта, которое находится под плоскостью смещения, поднято над висячим, который лежит над плоскостью смещения, а при возникновении взброса – наоборот. Для сдвигов характерно горизонтальное смещение частей пласта. При надвигах висячий бок оказывается надвинутым на лежащий вдоль пологой (45-60°) плоскости смещения [1].

Возникновения дизъюнктивных нарушений в пределах выемочного участка осложняют горнодобывающий процесс по ряду причин. Во-первых, при ведении горных работ на пластах с нарушением сплошности залегания породного массива необходимо корректировать конфигурацию работы угледобывающего комплекса как по падению, так и по простиранию. Это делается с целью адаптировать направление работы оборудования к изменившимся условиям, т.е. необходимо рассчитать, в каком месте необходимо начинать переход с одного горизонта ведения работ на другой. Во-вторых, с точки зрения экологических показателей, т.е. чтобы не оставить в недрах земли неоправданно большие части угольного массива, необходимо корректировать технологию выемки угля.

При определенных условиях дизъюнктивные нарушения в строении пласта могут увеличить риск обрушения горных пород, что существенно влияет на безопасность ведения горных работ, и в случае остановки очистного забоя, увеличиваются затраты на восстановление горного оборудования [2]. Перечисленные факторы повышают себестоимость добытого угля, что недопустимо для сформированной рыночной экономики.

В качестве ответа на сложившиеся проблемы возникла целесообразность привлечения такой отрасли, как разведочная геофизика, суть которой заключается в изучении внутреннего строения Земли с целью выявления залежей полезных ископаемых и геометрии дизъюнктивных нарушений. Одним из самых эффективных методов в этой отрасли является сейсморазведка [3, 4]. Она основана на различиях в свойствах проводимости горных пород. Сейсмические волны, возбужденные на земной поверхности,

проходят через разные слои горных пород с разной скоростью, а также отражаются от границ залегания слоев с разными характеристиками, за счет чего с помощью специальных приборов можно зафиксировать время прибытия отраженных волн обратно на поверхность земли. Зная время прибытия и расстояние между точкой возбуждения волн и точкой приема, можно вычислить скорость волны и на основании информации о скорости распространения волн в различных геологических средах определить состав и структуру пластов горных пород [5].

В работе используются результаты методов сейсморазведки, полученные экспериментальным путем. Определение структуры залегания позволяет выделить области повышенного риска возникновения дизъюнктивных нарушений [6].

Таким образом, возникает потребность в информационной системе, которая позволит провести моделирование результатов сейсморазведки, а также превентивно выявлять наличие разломов горных пород и определять их местоположение и свойства, опираясь на анализ данных сейсморазведки, с целью предоставления подробного отчета для инстанций, обладающих обязанностью контролировать процесс ведения горнодобывающих работ.

ОПИСАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НАХОЖДЕНИЯ ДЕСТРУКТИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА

Проведя анализ последовательности действий на каждом этапе сбора, анализа, обработки, визуализации и генерации отчетов, выполнено проектирование специализированной информационной системы, результатом которого является построенная концептуальная модель, позволяющая определить структуру моделируемой системы, ее элементы и свойства. На *рис. 1* представлена структура специализированной информационной системы, включающая в себя совокупность программных модулей, реализованных в виде отдельных подсистем.

Первичная визуализация исходных данных – схем горных отводов и результатов сейсморазведки, преобразованных в 3D-модель, была проведена в разработанной в ходе исполнения соглашения № 075-15-2022-1195 от 30.09.2022, заключенного между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», программы «Система управления мониторингом строительных работ на объектах, прошедших государственную экспертизу». Дальнейшее развитие функционала целесообразно проводить в виде отдельной отечественной информационной системы в связи с наличием множества модулей, а также нейронной сети, производящей обработку вводимых данных и расчет.

В описываемой системе в качестве исходных данных, загружаемых пользователем, используются результаты проведения кинематических испытаний, представленные в виде сериализуемых файлов сейсморазведочных данных. Сеть профилей, источники и приемники являются ключевыми элементами этого процесса. В контексте описываемой системы исходные данные по профилям (включая координаты профилей и расположение датчиков) хранятся в отдельных сущностях, то есть файлах в формате SEG-Y.

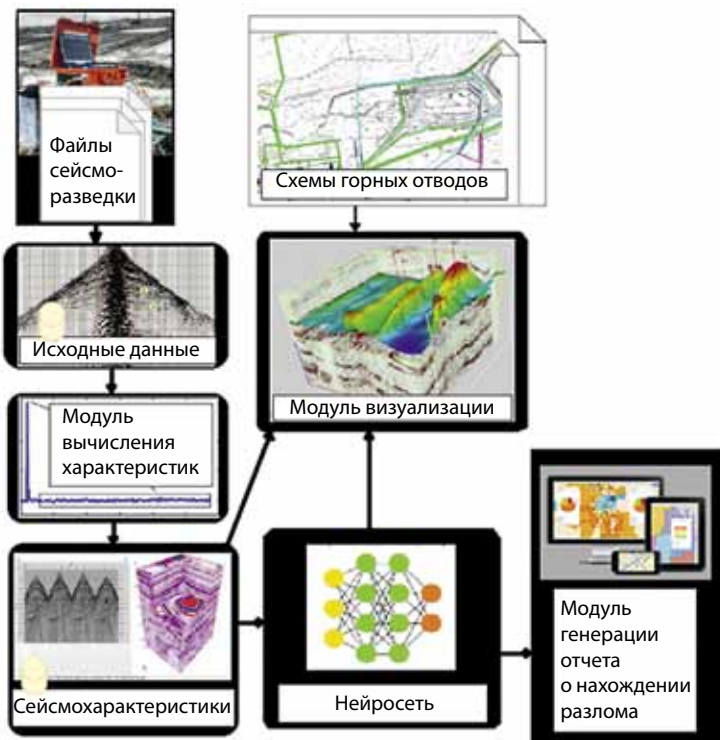


Рис. 1. Структура информационной системы
Fig. 1. The structure of the information system

SEG-Y-файлы содержат информацию о сейсмических данных в виде временных рядов, которые представляют собой записи временных изменений сейсмического сигнала. Эти данные обычно представляют собой отраженные волны, которые преломляются и отражаются различными слоями геологической структуры под землей.

Детальное описание конкретной используемой системы наблюдений (конфигурации приемников и источников, методы активации источников, используемое оборудование) выходит за рамки данной работы. Это вопрос, который обычно решается на практике в соответствии со спецификой конкретного объекта исследования и целями сейсморазведки. Такие сведения могут вноситься в систему оператором, поскольку не все виды оборудования позволяют хранить эти сведения в виде метаданных.

Из двоичных заголовков можно узнать схему расположения сейсмических профилей и датчиков на них, что позволяет восстановить геометрию проведения сейсморазведки [7]. Таким образом, для дальнейшей работы следует извлечь из файлов, сохранить и структурировать пространственные данные из двоичных заголовков, а также массивы значений сигнала. Для этого моделируется соответствующая база с исходными геоданными, которые содержат в себе априорную информацию о динамических характеристиках волн. Эти сведения получают посредством агрегации информации с сети профилей, получаемых с использованием вертикального сейсмического профилирования поляризационного типа, каждый из датчиков которой имеет геопространственную привязку на дневной поверхности.

Полученные амплитуды сейсмических сигналов предполагается использовать не в первоначальном виде, а рас-

считать на их основе ряд сейсмических характеристик посредством кинематической обработки данных сейсморазведки, позволяющей определять геометрию и свойства геологических формаций на основе сейсмических сигналов и характеризовать область, подвергшуюся сейсморазведочным работам. Для выполнения данной задачи проектируется модуль расчета сейсмических характеристик, содержащий в себе методы и алгоритмы кинематической обработки сейсморазведочных данных, в частности: алгоритмы расчета априорных статических поправок, определение скоростей суммирования, расчет амплитуд помех различного рода и т.д. Модуль должен содержать методы, позволяющие рассчитать такие показатели, как среднеквадратичное значение амплитуды, зависящее от свойств вмещающих сред, что позволяет установить связь между среднеквадратичным значением амплитуд и характером вмещающих горных пород [8]; соотношение сигнал/шум, а также средние и пиковые значения частот и амплитуд сигнала. Рассчитанные значения характеристик представляют ценность как для текущего расчета, проводимого оператором, так и для использования этих данных в ретроспективном анализе. В связи с этим такие данные необходимо хранить в виде обособленного объекта в виде структуры данных,

обладающей как атрибутами для однозначного референцирования в пространстве и времени, так и соответствующими метаданными. Такая постановка задачи ведет к тому, что необходимо разработать базу данных, общую для всех вычисляемых сейсмических характеристик, поскольку это упростит процесс получения данных для промежуточных работ ввиду единого хранилища.

Для анализа сейсмических характеристик предлагается разработать программный модуль, позволяющий автоматизировать процесс отделения полезного сигнала от зашумленного сигнала. Под «полезным сигналом» мы обычно считаем отраженные или преломленные волны, которые достигают датчиков после взаимодействия с геологическими структурами под землей. Эти сигналы несут информацию о свойствах и структуре подземных слоев, что позволяет нам строить их модель.

«Помехами» могут быть различные источники шума, которые могут наложиться на полезный сигнал в процессе его прохождения к приемнику. Это могут быть фоновые шумы, шумы от других источников сейсмической волны, нежелательные отражения и преломления от поверхностных структур и т.д.

В рамках предложенной модели обработки данные сейсморазведки подвергаются первичной обработке, чтобы минимизировать влияние этих помех и улучшить качество полезного сигнала. Это включает различные методы фильтрации, коррекции смещения, взвешивания и деконволюции. Затем извлеченные сейсмические характеристики подаются на вход нейронной сети, которая обучена распознавать дизъюнктивные нарушения на основе сложных зависимостей между набором входных данных, в нашем случае характеристик сейсмосигналов, и выход-

ных данных, т.е. сведений о наличии или отсутствии разрывных нарушений дизъюнктивного характера. Это позволит автоматизировать задачу классификации результатов сейсморазведки. Анализ данных с применением нейронных сетей должен ускорить процесс выявления разломов горных пород, позволяя преобразовать сложные сейсмические данные в интуитивно понятные и визуально удобные форматы.

Поскольку данная процедура может выполняться уже на действующих участках отработки угольных пластов, то проведение декомпозиции определения геометрических дефектов пластов в виде разломов может существенно повлиять на оперативность принятия решения о смене самого технологического процесса или его корректировки. Например, при внезапном отсутствии угольной массы требуются дополнительные исследования геометрии породного массива, это повлияет на длительность простоев и, как следствие, на экономическую составляющую проекта по добыче угля.

Интерпретация результатов, полученных при использовании нейронных сетей, будет осуществляться на основании важности признаков, связанных с амплитудами сигналов сейсморазведки. Каждая характеристика или признак будут иметь определенный вес в нейронной сети. Сигналы с высокими амплитудами могут указывать на наличие дизъюнктивных нарушений в горных породах, поскольку такие нарушения обычно сопровождаются изменениями в их структуре, что может вызывать более сильные отраженные волны.

Физическое истолкование результатов, полученных с помощью нейронной сети, в контексте нашей статьи будет связано с определением структуры горных пород. Например, выявление дизъюнктивных нарушений может указывать на изменения в структуре горных пород, что может привести к обрушению или другим нежелательным последствиям в процессе добычи. В то же время, отсутствие таких нарушений может указывать на стабильность горных пород и безопасность дальнейших работ. Таким образом, результаты, полученные с помощью нейронной сети, могут быть физически интерпретированы как совокупность областей различных структур горных пород в пределах исследуемой зоны.

Для наглядного представления дизъюнктивного нарушения используется программный модуль, поддерживающий изображения в трехмерном пространстве. В полученной информационной системе исходные данные для построения трехмерной модели берутся из протоколов результатов проведения кинематической обработки сейсмических наблюдений с выделением кинематических характеристик волн, как отраженных, так и преломленных, которые включают в себя информацию о геометрии исследуемого участка, а также о физических свойствах горных пород, которые измеряются через амплитуды сейсмических сигналов. Конкретно, модель строится на основе данных, содержащихся в SEG-Y-файлах и преобразованных в структурированный вид, который включает в себя координаты профилей, геопространственное расположение датчиков, массив значений глубины залегания под точками датчиков и указание горных пород массива.

Модуль построения трехмерной модели среды в данном контексте можно понимать как комбинированный процесс, включающий в себя структурирование входных данных, вычисление сейсмических характеристик, анализ полученных данных с помощью методов машинного обучения и последующую визуализацию результатов. Наглядное представление деформированного пласта по падению и простиранию позволяет спрогнозировать новое положение лавы в пространстве. В качестве исходных файлов для модуля визуализации могут использоваться схемы горных отводов совместно с исходными данными о сейсморазведочных работах, хранящимися в соответствующей базе данных. Это позволит составить схему ведения сейсморазведочных работ и отобразить залегание пластов. Для отображения возникших разломов модуль визуализации получает результаты работы нейросети по выявлению дизъюнктивных нарушений, а также их локализации в пределах исследуемой области.

Следующим этапом работ в проектируемой информационной системе является генерация типового отчета, в котором должна содержаться информация о результате проведения сейсморазведки, то есть наличии или отсутствии дизъюнктивных нарушений, совместно с визуализированной схемой залегания пласта в зоне ведения горных работ. На основании данного отчета соответствующая инстанция, в частности старшие инженеры, планируют следующий этап проведения работ по добыче угля на данном участке шахтного поля.

На *рис. 2* приведена диаграмма потоков данных [9], которая иллюстрирует последовательность операций в системе. Согласно представленной диаграмме, начало работы системы обозначается этапом загрузки пользователем набора файлов в формате SEG-Y, содержащих информацию, полученную в результате сейсморазведки. Из этих файлов извлекаются сведения о конфигурации сейсмопрофилей, а также массивы амплитуд сейсмических сигналов и другие данные, сохраненные в процессе кинематических испытаний породного массива.

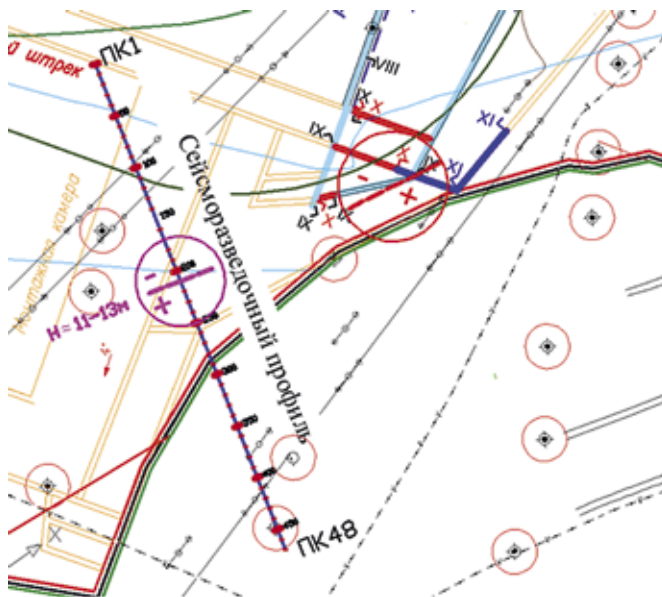
После проведения структуризации полученной информации она загружается в соответствующую таблицу базы данных, хранящей геоданные кинематических испытаний, на основании которых может быть спроектировано получение динамических характеристик волн, которые служат исходными для нейронных сетей. Хранимые в БД данные являются входными для алгоритмов модуля интеллектуального анализа, который является агрегатором для моделей машинного и глубокого обучения, которые используются для локализации разрывных нарушений различного рода.

Результатом проведенного анализа должен стать вывод о наличии дизъюнктивных нарушений на исследуемом участке угольного пласта. В случае, если дизъюнктивное нарушение было выявлено, необходимо также выявить зоны наибольшей потенциальной вероятности нахождения разломов. Информация об этих зонах используется для проведения визуализации углепородного пласта.

Для проведения визуализации необходимо воспользоваться набором топографических карт со схемами шахтных полей в пределах горного отвода. Поскольку сейсмодатчики имеют пространственную привязку, то на поверх-



Рис. 2. Диаграмма потоков данных
Fig. 2. Data flow diagram



Параметры геологического нарушения, определенные по результатам проведения сбойки

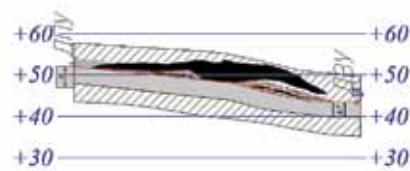


Рис. 3. Наличие геологического нарушения по результатам проведения сбойки
Fig. 3. The presence of a geological disturbance based on the results of the failure

ность электронной карты будут нанесены сейсмопрофили с соответствующим расположением датчиков. По результатам обработанных атрибутивных данных мы получаем тематическую электронную карту, на которой будет отрисован деформированный угольный пласт с опорой на данные сейсморазведки.

Итоговый отчет, который может получить пользователь на выходе системы, включает в себя информацию о наличии или отсутствии дизъюнктивных нарушений в области проведения сейсморазведочных работ вместе с визуализацией залегания пластов в случае наличия деформаций, которые необходимо отразить на изображении.

По результатам анализа полученного отчета принимается решение, по какой технологии и каким горношахтным оборудованием провести отработку угольного пласта. В результате принимается решение о своевременном переходе на новый уровень в пределах выемочного участка. Пример части отчета представлен на рис. 3.

Для реализации предлагаемой информационной системы необходимо построить концептуальную модель данных. Модель базы данных представлена на рис. 4. При ее построении использовались данные, полученные как в результате реальных замеров показаний с сейсмотрасс, так и статические характеристики горных пород [10].

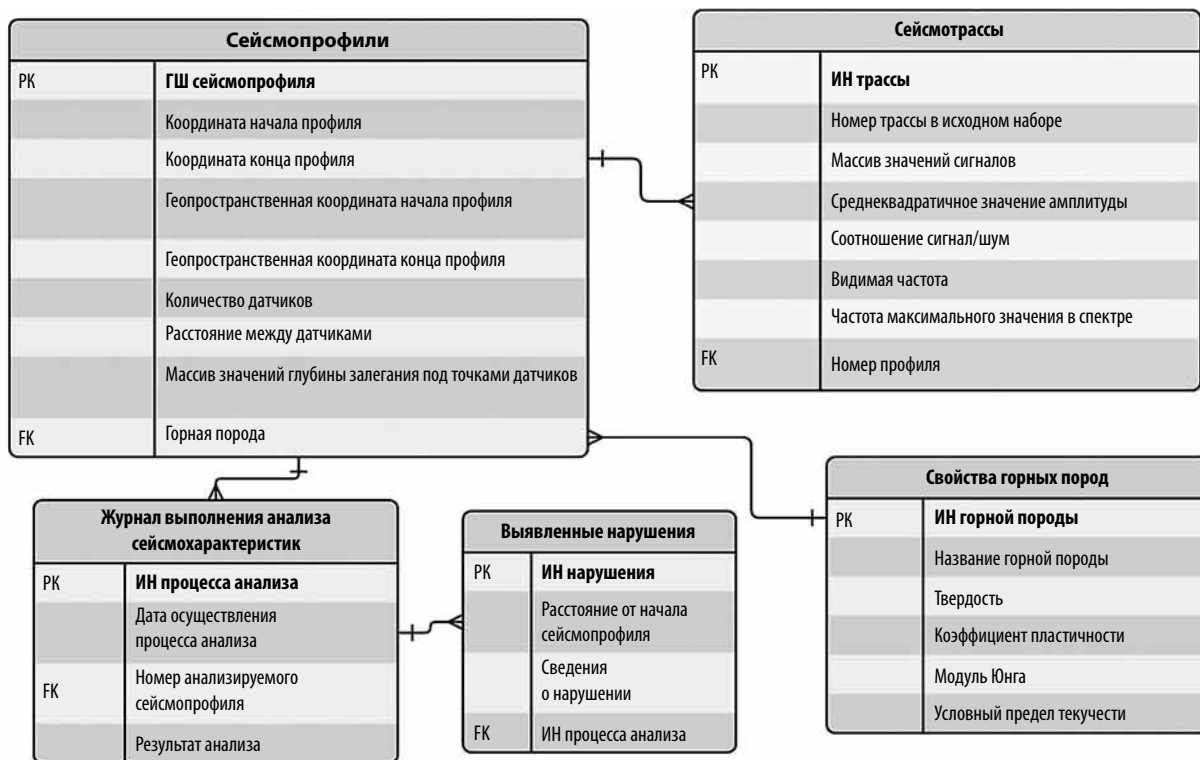


Рис. 4. ER-диаграмма базы данных

Fig. 4. Database ER Diagram

Из представленной диаграммы модели данных видно, что информация по профилям из исходных файлов сохраняется в отдельную сущность. В качестве атрибутов в ней сохраняются координаты профиля, в том числе геопространственные, сведения о расположении датчиков, массив значений глубины залегания под точками датчиков и указание горных пород массива. Обозначенные данные используются модулем при визуализации углепородного массива, а также нанесении на карту при осуществлении геопространственного отображения. Информация о свойствах горных пород, хранящаяся в отдельной сущности, позволяет более детализированно отобразить структуру недр земли.

Данные о сеймотрассах, которые хранятся в *seg*-файлах, относящихся к соответствующим сейсмопрофилям, вынесены в отдельную таблицу. Модулем вычисления сейсмических характеристик из нее извлекаются массивы значений сейсмосигналов трасс, а затем в таблице сохраняются значения, используемые в дальнейшем для проведения анализа с помощью нейронной сети.

Журнал выполнения анализа сейсмохарактеристик хранит информацию, которая позволит идентифицировать процессы запуска анализа. Так, в нем хранятся дата, номер профиля, к которому относились сейсмоданные и вердикт по наличию или отсутствию дизъюнктивных нарушений. В случае выявления нарушений, сведения о них, а также их локация заносятся в соответствующую таблицу.

В качестве модуля визуализации целесообразно разработать программный модуль, позволяющий отобразить участок ведения горнодобывающих работ и его геопространственное положение на карте. Использование данного модуля позволит автоматизировать работу по по-

строению необходимых схем горных отводов, отображению выявленных нарушений на картах и избавит от необходимости использовать проприетарное программное обеспечение, разработанное зарубежными компаниями, такое как AutoCAD и др. В перспективе указанный модуль целесообразно интегрировать в разработанную «Систему управления мониторингом строительных работ на объектах, прошедших государственную экспертизу» для целей расширения функционала Системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предлагаемая структура геоинформационной системы позволяет пользователю-специалисту на основании анализа данных сейсморазведки определять наличие или отсутствие дизъюнктивных нарушений горных пород в пределах исследуемой зоны ведения горных работ, строить тематические электронные карты с различными видами сечений горных пород. Это достигается за счет анализа сейсмических характеристик, рассчитываемых на основе значений амплитуд сигналов сейсморазведки, при помощи аппарата нейронной сети. На представленных схемах и диаграммах представлен предлагаемый вариант устройства проектируемой информационной системы относительно деления на модули и перемещения потоков данных. Актуальность данной информационной системы для угледобывающей промышленности оценивается довольно высоко, так как возможность превентивно определить наличие дизъюнктивных нарушений и, таким образом, скорректировать ход ведения горных работ по добыче угля позволяет повысить эффективность горнотехнических систем в области безопасности ведения горных работ.

Список литературы

1. Общая геология: учеб. пособие / И.Г. Ермолович, О.Ю. Мещерякова, Е.С. Ушакова и др. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2018. 133 с.
2. Сашурин А.Д., Панжина Н.А. Влияние земных разломов на прочностные характеристики зданий и сооружений // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2010. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-zemnyh-razlomov-na-prochnostnye-harakteristiki-zdaniy-i-sooruzheniy> (дата обращения: 15.10.2023).
3. Геофизика: учебное пособие, электронное издание сетевого распространения. М.: «КДУ», «Добросвет», 2018. 324 с.
4. Коркин С.Е., Ходжаева Г.К. Геофизика. Учебное пособие. Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2016. 128 с.
5. Костицын В.И., Хмелевской В.К. Геофизика: учебник. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2018. 428 с.
6. Соколов А.Г., Черных Н.В. Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых: учебное пособие. Оренбург: ОГУ, 2015. 143 с.
7. Гайнанов В.Г. Практикум по обработке данных сейсморазведки МОВ-ОГТ. Руководство к практическим занятиям по курсу «Сейсморазведка». М.: «КДУ», «Добросвет», 2018.
8. Sequence Attribute Analysis. [Электронный ресурс]. URL: https://esd.halliburton.com/support/LSM/GGT/ProMAXSuite/ProMAX/5000/5000_8/Help/promax/ssaa.pdf (дата обращения: 15.10.2023).
9. Киселев Д.Ю., Киселев Ю.В., Макарьев В.Д. Структурный анализ потоков данных. Самара: Изд-во СГАУ, 2014. 12 с.
10. Чен П.П-Ш. Модель «сущность – связь» – шаг к единому представлению о данных. [Электронный ресурс]. URL: <http://citforum.ru/database/classics/chen/> (дата обращения: 15.10.2023).

Original Paper

UDC 622.33:681.3 © I.Yu. Stepanov, 2023

ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 11, pp. 113-119

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-11-113-119>

Title

DESIGNING AN INFORMATION SYSTEM FOR DETERMINING DESTRUCTIVE CHANGES IN THE CARBONIFEROUS MASSIF

Authors

Stepanov I.Yu.¹

¹ Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Authors Information

Stepanov I.Yu., Postgraduate student, e-mail: zextel1995@gmail.com

Abstract

The article considers one of the projects for digitalization of the coal industry – the design of an information system for finding disjunctive rock disturbances characterized by the presence of faults in the structure of a carboniferous massif, based on the results of seismic surveys. The use of the proposed information system will make it possible to preventatively determine the presence of such faults for making management decisions in order to ensure trouble-free, high-performance operation of the coal enterprise. Based on the results obtained, the coal mining process could be adjusted, which would have a positive impact on its efficiency and safety of the mechanized complex. The article presents the structure of a specialized geoinformation system that includes such a set of modules as: a module for calculating seismic characteristics, a 3D visualization module, a module for analyzing data using a neural network and a module for generating reports, and also describes their functionality and principle of operation. Then the functionality of the system was concretized by constructing a data flow diagram, which made it possible to display the order of processing data entering the system. As a result, a database model of the system was designed and an ER diagram was built, which details the entities used by the system to store both input data and data obtained as a result of the system operation, and their relationships with each other. Based on user requests, it is possible to generate reports in the desired form.

Keywords

Geoinformation system, Digitalization of the coal industry, System design, Seismic exploration, Disjunctive disturbances.

References

1. Ermolovich I.G., Meshcheryakova O.Yu., Ushakova E.S. & Shchukova I.V. General geology: studies. Manual. – Perm, Perm. state. National. research. un-t, 2018, 133 p. (In Russ.).
2. Sashurin A.D. & Panzhina N.A. The influence of Earth faults on the strength characteristics of buildings and structures. *Academicheskij vestnik UralNI-proekt RAASN*, 2010, (1). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-zemnyh-razlomov-na-prochnostnye-harakteristiki-zdaniy-i-sooruzheniy> (accessed 15.10.2023). (In Russ.).

nie-zemnyh-razlomov-na-prochnostnye-harakteristiki-zdaniy-i-sooruzheniy (accessed 15.10.2023). (In Russ.).

3. Geophysics: textbook, electronic edition of network distribution. Moscow, "KDU", "Dobrosvet", 2018, 324 p. (In Russ.).

4. Korokin S.E. & Khodzhaeva G.K. Geophysics. Textbook. Nizhnevartovsk, Publishing house of Nizhnevart. state University, 2016, 128 p. (In Russ.).

5. Kostitsyn V.I. & Khmelevskoy V.K. Geophysics: textbook. Perm, Perm. state National research. un-t., 2018, 428 p. (In Russ.).

6. Sokolov A.G. & Chernykh N.V. Geophysical methods of prospecting and exploration of mineral deposits: textbook. Orenburg, OSU, 2015, 143 p. (In Russ.).

7. Gainanov V.G. Workshop on the processing of seismic survey data MOV-OGT. A guide to practical classes on the course "Seismic exploration". The second edition, revised: textbook, electronic edition of network distribution. Moscow, "KDU", "Dobrosvet", 2018. (In Russ.).

8. Sequence Attribute Analysis. [Electronic resource]. Available at: https://esd.halliburton.com/support/LSM/GGT/ProMAXSuite/ProMAX/5000/5000_8/Help/promax/ssaa.pdf (accessed 15.10.2023). (In Russ.).

9. Kiselev D.Yu., Kiselev Yu.V. & Makariev V.D. Structural analysis of data flows. Samara, Publishing House of SSAU, 2014, 12 p. (In Russ.).

10. Chen P.P.-Sh. The "entity – connection" model is a step towards a unified view of data. [Electronic resource]. Available at: <http://citforum.ru/database/classics/chen> (accessed 15.10.2023). (In Russ.).

Acknowledgements

The research performed under Agreement No. 075-15-2022-1195 dated 30.09.2022, signed between the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kemerovo State University.

For citation

Stepanov I.Yu. Designing an information system for determining destructive changes in the carboniferous massif. *Ugol'*, 2023, (11), pp. 113-119. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2023-11-113-119](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-11-113-119).

Paper info

Received September 29, 2023

Reviewed October 13, 2023

Accepted October 26, 2023

ГЕОИНФОРМАТИКА