УВЯЗКА КРИВЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН ПРИ ПОМОЩИ АВТОМАТИЗАЦИИ И ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON

Л.И. Гимазиева, *студент*
Н.Е. Фролов, *студент*
Уфимский государственный нефтяной технический университет
(Россия, г. Уфа)

DOI:10.24412/2500-1000-2025-10-2-14-19

Аннотация. *В статье рассматривается проблема увязки кривых геофизических исследований скважин с использованием автоматизации и языка программирования Python. Авторы предлагают метод автоматизации процесса совмещения данных от различных геофизических методов, что позволяет значительно ускорить и упростить обработку информации. Результаты исследования показывают, что автоматизация снижает риск ошибок и повышает эффективность обработки данных.*

Ключевые слова: *геофизические исследования, автоматизация, Python, увязка кривых, гамма-каротаж, нейтронно-гамма каротаж, обработка данных.*

Современные геофизические исследования всё чаще опираются на комплексный подход, при котором используется сразу несколько методов для более точного понимания структуры земных недр. Каждый из этих методов – будь то электрические, радиоактивные, нейтронные, акустические методы и другие – даёт свою, уникальную информацию. Однако основная сложность заключается в том, чтобы корректно совместить эти данные между собой. Такая увязка требует учёта особенностей каждого метода, приведения информации к единому масштабу и формату, а также детального анализа пересекающихся зон. В ручном режиме этот процесс может занимать большое количество времени и ресурсов, а также быть подвержен человеческому фактору и ошибкам.

Именно поэтому автоматизация увязки геофизических методов становится всё более актуальной задачей. Использование языка программирования Python открывает широкие возможности для реализации таких процессов. В этом отчёте рассматривается разработка и применение кода на Python, направленного на автоматизацию увязки данных различных геофизических методов. Целью является создание удобного и надёжного инструмента, который сможет упростить процесс интерпретации и повысить эффективность геофизических исследований в целом.

Автоматизация увязки геофизических методов с помощью Python имеет ряд преимуществ. Во-первых, это позволяет значительно сократить время обработки данных и уменьшить влияние человеческого фактора. Во-вторых, использование программных средств позволяет более точно учитывать особенности каждого метода и проводить более сложные и точные расчеты. В-третьих, автоматизация позволяет легко масштабировать процесс обработки данных и применять его к большому количеству скважин и методов.

Прежде чем переходить к программной обработке данных, стоит отметить, что исходный LAS-файл уже содержит всю необходимую информацию, которая пригодится нам для последующей интерпретации геофизических данных. Этот файл представляет собой стандартный формат хранения данных каротажа скважин, и его структура включает как общую информацию (так называемую «шапку»), так и непосредственно измерения, снятые различными приборами.

Первым делом необходимо разделить файл на две части: метаинформацию (шапку) и сами числовые данные – то есть показания приборов, снятые в процессе исследований. Это поможет избежать путаницы при импорте и анализе информации. Далее, чтобы Python смог корректно прочитать таблицу значений, потребуется заменить все пробелы на запятые. Сделать это можно с помощью стандартной команды поиска и замены в текстовом редакторе (например, через сочетание клавиш Ctrl+F). Такая замена позволит программе

правильно распознать структуру данных при загрузке их в DataFrame.

После выполнения этих подготовительных шагов можно переходить к запуску первой Python-программы, которая уже будет работать с преобразованными данными. Это позволит начать автоматизированный анализ и упростит дальнейшую обработку геофизических измерений.

E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Depth	NGK	Дельта	ГГК-ЛП	ИКП3	ИКП4	ИКП5	БКН1	БКН2	БКН3	БКН4	БКН5	ГГКА
950	2,908	209,648	2,651	4,097	8,199	10,784	8,67	10,84	11,11	11,11	11,08	14,91
950,2	3,035	206,475	2,63	5,448	9,253	11,682	8,82	11,1	11,51	11,49	11,82	14,97
950,4	3,135	203,533	2,636	6,3	10,201	12,322	8,92	11,45	11,92	11,86	13,33	14,95
950,6	3,15	198,158	2,624	6,79	10,406	12,506	9,7	12,68	13,07	13,47	15,89	15,01
950,8	3,281	190,857	2,606	6,925	10,399	12,437	10,67	14,17	14,75	16	18,92	15,12
951	3,293	194,008	2,631	7,238	10,562	12,081	10,53	14,03	15,44	17,45	20,02	14,85
951,2	2,98	195,022	2,627	6,683	9,666	11,279	9,38	13,31	15,13	16,3	17,63	14,60
951,4	2,765	196,83	2,596	6,377	8,793	10,978	10,74	16,65	19,17	19,94	21,54	14,65
951,6	2,57	199,518	2,62	6,126	8,448	10,991	8,16	11,95	12,81	13,29	14,52	14,62
952,6	2,751	213,655	2,537	5,013	7,882	10,583	7,51	10,46	10,72	10,94	11,71	14,94
952,8	3,098	206,943	2,585	5,028	7,732	10,04	8,72	12,24	13,85	14,29	15,57	15,02
953,4	3,103	206,988	2,615	5,808	8,817	10,655	8,84	11,21	12,3	14,18	16,7	15,19
953,6	3,115	203,442	2,608	6,409	9,109	11,595	8,82	11,38	11,92	12,93	16,1	15,19
953,8	3,005	203,151	2,595	6,052	9,421	11,68	8,67	11,11	11,38	11,58	13,68	15,2
954	2,765	205,082	2,595	5,694	8,631	10,801	8,65	10,81	11,04	10,96	12,11	15,28
954,2	2,885	200,659	2,589	4,269	6,965	10,718	8,7	10,7	10,96	10,88	11,66	15,13
954,4	3,129	192,667	2,591	7,32	11,743	13,798	9,53	12,28	12,66	12,58	12,91	14,3
954,6	2,93	194,586	2,61	5,731	8,723	13,566	10,222	14,222	14,787	15,048	15,572	14,10
954,8	2,672	203,528	2,579	4,346	7,413	10,952	9,963	13,624	14,392	14,885	15,671	15,15

Рис. 1. Результирующая таблица

Основная идея алгоритма, который мы разработали, заключается в использовании метода гамма-каротажа в качестве опорного. Это решение было принято не случайно: гамма-каротаж проводился отдельно от других методов, в рамках самостоятельной спускоподъёмной операции, что позволяет рассматривать его как наиболее стабильный и независимый источник информации. Кроме того, стоит учитывать и физическую природу самого метода: его показания напрямую противоположны результатам, полученным при нейтронно-гамма каротаже. Именно это различие легло в основу логики нашей программы.

Чтобы грамотно совместить данные от разных методов, первым шагом мы проводим инверсию показаний нейтронно-гамма каротажа. Это необходимо для того, чтобы привести тренды и поведение обоих методов к единой логике – таким образом становится проще находить пересекающиеся участки и схожие по характеру аномалии. После того как инверсия выполнена, программа автоматически анализирует оба массива данных и ищет участки, где наблюдаются одинаковые по форме отклонения. Эти схожие аномалии служат своеобразными контрольными точками, на которых основано дальнейшее смещение данных.

Следующий важный шаг – это реализация самого механизма смещения. Опираясь на найденные совпадающие фрагменты, программа корректирует глубины, тем самым выравнивая несовпадающие данные двух методов. Чтобы этот процесс работал корректно, мы заранее внесли небольшие изменения в глубины, привязанные к гамма-каротажу, а также к нейтронно-гамма методам. Это сделано с учётом возможных технических сбоев, ошибок привязки и других факторов, влияющих на точность глубинных измерений.

Механизм смещения является ключевым элементом в процессе увязки данных. Он позволяет корректировать глубины и выравнивать несовпадающие данные двух методов. Для реализации этого механизма используются различные алгоритмы, такие как алгоритмы корреляции, алгоритмы интерполяции и алгоритмы оптимизации. Выбор алгоритма зависит от конкретных условий и задачи исследования. Важно отметить, что корректная реализация механизма смещения требует учета

возможных технических сбоев, ошибок привязки и других факторов, влияющих на точность глубинных измерений.

В результате всех этих шагов получается выровненная и синхронизированная картина, где данные разных методов «говорят на одном языке» и могут быть корректно интерпретированы в комплексе. Это значительно упрощает анализ и повышает достоверность геофизической информации, особенно при комплексной интерпретации скважинных данных.

Для реализации и проверка нашей программы будут использоваться следующие данные, которые представлены на рисунке 2.

Depth1	GK		Depth2	NGK
950	4,823		1000,000	2,908
950,2	4,531		1000,200	3,035
950,4	4,546		1000,400	3,135
950,6	4,487		1000,600	3,15
950,8	4,269		1000,800	3,281
951	4,431		1001,000	3,293
951,2	4,604		1001,200	2,98
951,4	4,448		1001,400	2,765
951,6	5,27		1001,600	2,57

Рис. 2. Промежуточные данные для проверки программы

Также дополнительно для удобства пользователя было добавлено графическое изображение кривых до и после увязки.

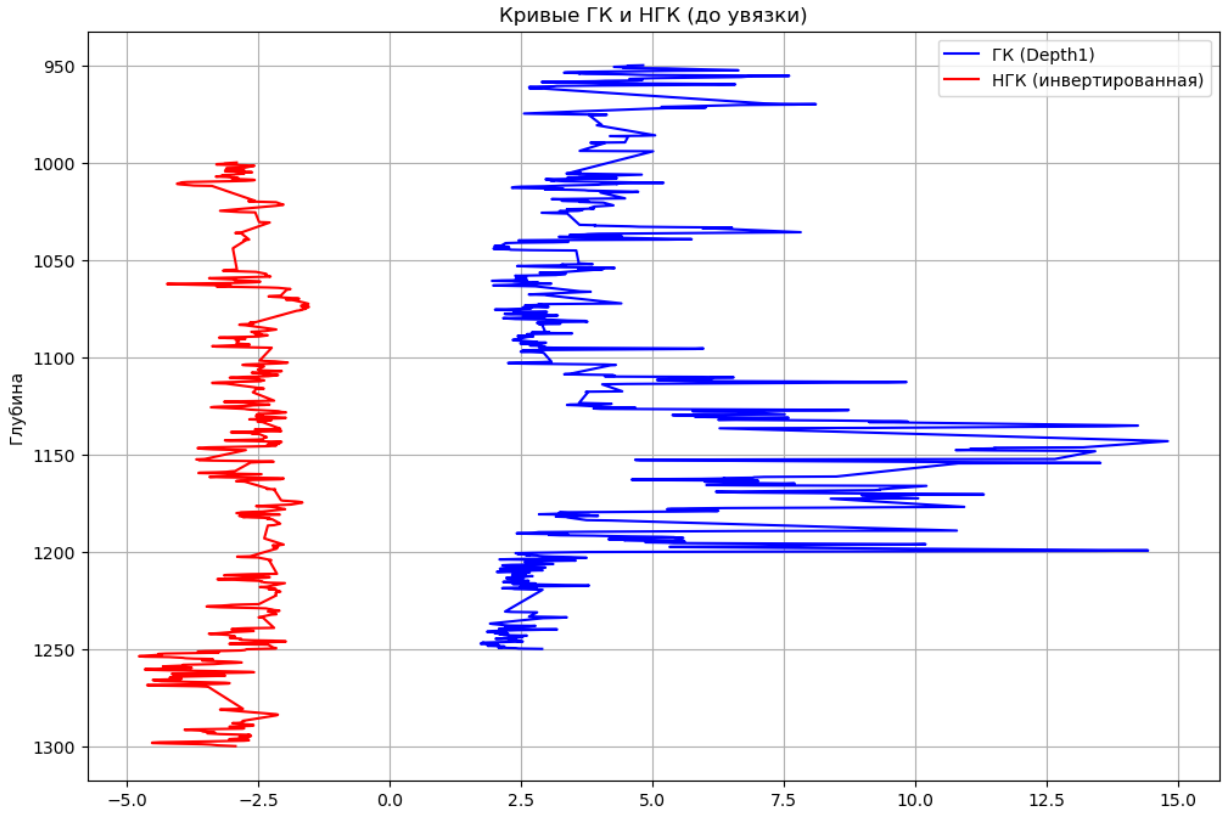

Рис. 3. Кривые ГК и НГК до увязки

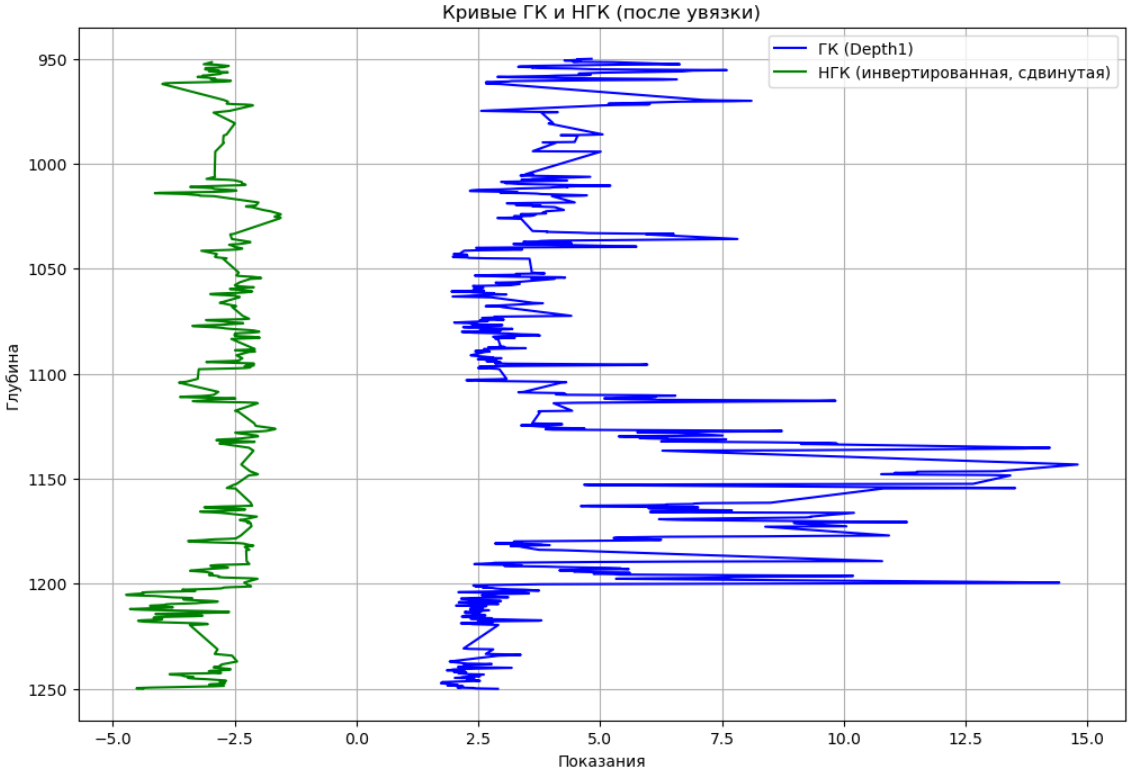

Рис. 4. Кривые ГК и НГК после увязки

Поскольку на данный момент нас не интересует построение графического отображения взаимосвязанных методов геофизических исследований скважин, основное требование к программе – это создание нового Excel-файла. В этом файле должна быть представлена уже скорректированная глубина, с учетом проведенной увязки данных между разными методами. Грубо говоря, задача сейчас заключается не в визуализации, а именно в подготовке удобного для последующей работы документа, где глубины будут приведены к единой системе координат после корректировки.

В результате она создает Excel файл, который позволяет нам с легкостью перенести его в текстовый файл, который после будет использоваться в специализированном программном обеспечении, например, Прайм.

Важно отметить, что для корректной работы программы необходимо учитывать несколько технических аспектов. Во-первых, формат входных данных: программа ожидает данные в формате LAS с определённой структурой. Необходимо убедиться, что исходный файл соответствует этому формату и содержит все необходимые разделы. Во-вторых, обработка ошибок: в процессе работы программы могут возникать ошибки, связанные с некорректными данными или несоответствием форматов. Для этого предусмотрены механизмы обработки ошибок и вывод сообщений о возможных проблемах. В-третьих, настройка параметров: для более точной увязки данных можно настроить параметры алгоритма, такие как допустимое отклонение при поиске совпадающих фрагментов или метод инверсии показаний. В-четвёртых, вывод результатов: программа создаёт Excel-файл с скорректированными данными, который можно использовать для дальнейшего анализа или импортировать в другие программы.

Автоматизация увязки геофизических методов с помощью Python имеет ряд преимуществ. Во-первых, это позволяет значительно сократить время обработки данных и уменьшить влияние человеческого фактора. Во-вторых, использование программных средств позволяет более точно учитывать особенности каждого метода и проводить более сложные и точные расчеты. В-третьих, автоматизация позволяет легко масштабировать процесс обработки данных и применять его к большому количеству скважин и методов. В-четвёртых, это повышает достоверность геофизической информации, особенно при комплексной интерпретации скважинных данных.

Глубина	ГК	НГК	Дельта	ГГК-ЛП	ИКП3	ИКП4	ИКП5	БКН1	БКН2	БКН3	БКН4	БКН5	ГГКА
950	4,823	2,908	209,648	2,651	4,097	8,199	10,784	8,67	10,84	11,11	11,11	11,08	14,911
950,2	4,531	3,035	206,475	2,63	5,448	9,253	11,682	8,82	11,1	11,51	11,49	11,82	14,974
950,4	4,546	3,135	203,533	2,636	6,3	10,201	12,322	8,92	11,45	11,92	11,86	13,33	14,959
950,6	4,487	3,15	198,158	2,624	6,79	10,406	12,506	9,7	12,68	13,07	13,47	15,89	15,017
950,8	4,269	3,281	190,857	2,606	6,925	10,399	12,437	10,67	14,17	14,75	16	18,92	15,123
951	4,431	3,293	194,008	2,631	7,238	10,562	12,081	10,53	14,03	15,44	17,45	20,02	14,859
951,2	4,604	2,98	195,022	2,627	6,683	9,666	11,279	9,38	13,31	15,13	16,3	17,63	14,604
951,4	4,448	2,765	196,83	2,596	6,377	8,793	10,978	10,74	16,65	19,17	19,94	21,54	14,655
951,6	5,27	2,57	199,518	2,62	6,126	8,448	10,991	8,16	11,95	12,81	13,29	14,52	14,628
952,6	6,636	2,751	213,655	2,537	5,013	7,882	10,583	7,51	10,46	10,72	10,94	11,71	14,942
952,8	5,413	3,098	206,943	2,585	5,028	7,732	10,04	8,72	12,24	13,85	14,29	15,57	15,021
953,4	3,597	3,103	206,988	2,615	5,808	8,817	10,655	8,84	11,21	12,3	14,18	16,7	15,198
953,6	3,387	3,115	203,442	2,608	6,409	9,109	11,595	8,82	11,38	11,92	12,93	16,1	15,199
953,8	3,319	3,005	203,151	2,595	6,052	9,421	11,68	8,67	11,11	11,38	11,58	13,68	15,22
954	3,626	2,765	205,082	2,595	5,694	8,631	10,801	8,65	10,81	11,04	10,96	12,11	15,283
954,2	3,6	2,885	200,659	2,589	4,269	6,965	10,718	8,7	10,7	10,96	10,88	11,66	15,137
954,4	3,73	3,129	192,667	2,591	7,32	11,743	13,798	9,53	12,28	12,66	12,58	12,91	14,32
954,6	4,412	2,93	194,586	2,61	5,731	8,723	13,566	10,222	14,222	14,787	15,048	15,572	14,104
954,8	4,63	2,672	203,528	2,579	4,346	7,413	10,952	9,963	13,624	14,392	14,885	15,671	15,156
955	4,914	2,613	205,771	2,55	4,932	8,368	11,918	10,091	13,015	13,549	13,873	14,563	15,578

Рис. 5. Результирующая таблица

Заключение

В ходе работы была рассмотрена задача автоматизации увязки геофизических методов с использованием языка программирования Python. Разработанный подход показал, что при правильной организации кода и использовании специализированных библиотек можно значительно упростить и ускорить процесс объединения данных, полученных разными методами. Это особенно важно при работе с большими массивами информации, где ручная обработка становится неэффективной и трудоёмкой.

Результаты исследования продемонстрировали, что автоматизация процессов увязки геофизических данных не только существенно сокращает временные затраты, но и минимизирует риск ошибок, связанных с человеческим фактором. Это становится особенно актуальным при обработке крупных объёмов данных, где вероятность допущения ошибок при ручной обработке значительно возрастает. Кроме того, использование Python для этих целей позволяет создать гибкую и адаптируемую систему, способную быстро подстраиваться под специфические требования различных геофизических проектов.

В процессе разработки было выявлено, что автоматизированный подход обеспечивает более высокую точность сопоставления данных, полученных различными методами геофизических исследований. Это достигается за счёт применения специальных алгоритмов, способных учитывать особенности каждого метода и проводить корректировку данных с учётом возможных погрешностей измерений. Такая точность особенно важна при комплексной интерпретации скважинных данных, где даже незначительные погрешности могут привести к неверным выводам о строении недр.

Практическая реализация разработанного решения показала, что использование Python для автоматизации увязки геофизических данных является перспективным направлением, имеющим широкий спектр применения. В научных исследованиях этот подход позволяет более эффективно обрабатывать большие объёмы данных и выявлять скрытые закономерности в геофизических измерениях. В практических проектах, связанных с разведкой и добычей углеводородов, автоматизация способствует более точному определению перспективных интервалов и оптимизации процессов бурения.

Таким образом, автоматизация увязки геофизических данных представляет собой не просто инструмент для упрощения рутинных операций, а важный шаг на пути к повышению точности и эффективности геофизических исследований. В дальнейшем разработку можно расширить, добавив новые функции для обработки дополнительных типов данных, интеграцию с другими форматами геофизической информации и поддержку более сложных методов интерпретации. Это позволит создать универсальный инструмент, способный решать широкий спектр задач в области геофизики и смежных дисциплин.

Библиографический список

1. Билл Любанович. Простой Python. Современный стиль программирования. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2021. – 592 с.: ил. – (Серия «Бестселлеры O'Reilly»). – ISBN 978-5-4461-1639-3.
2. Груздев А.В. Высокопроизводительная обработка и анализ данных в Python. – М.: «ДМК Пресс», 2019. – 684 с.
3. Работаем с Pandas: основные понятия и реальные данные. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://skillbox.ru/media/code/rabotaem-s-pandas-osnovnye-ponyatiya-i-realnye-dannye/.

LINKING THE CURVES OF GEOPHYSICAL WELL SURVEYS USING AUTOMATION AND THE PYTHON PROGRAMMING LANGUAGE

L.I. Gimazieva, *Student*
N.E. Frolov, *Student*
Ufa State Petroleum Technological University
(Russia, Ufa)

Abstract. *The article discusses the problem of tying well logging curves using automation and the Python programming language. The authors propose a method for automating the process of combining data from various geophysical methods, which significantly speeds up and simplifies information processing. he results of the study show that automation reduces the risk of errors and increases the efficiency of data processing.*

Keywords: *geophysical research, automation, Python, tying curves, gamma logging, neutron-gamma logging, data processing.*