

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

ТОМ 2

XII Международная научная конференция

МОЛОДЫЕ – НАУКАМ О ЗЕМЛЕ

30 – 31

марта 2026 г.



УДК 55 : [550.812+622] : 001.895 + [622.276+622.279] (082)
ББК 26.347

Молодые – наукам о Земле: в 4 т. Материалы XII Международной научной конференции молодых ученых «Молодые – наукам о Земле» - М.: Издательство МГРИ, 2026.

Т. 2: ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ И ДЕЛА, НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО / ред. коллегия: Ю.П. Панов, Г.А. Мамед-Заде - М.: Издательство МГРИ, 2026 – 570 с.

ISBN 978-5-907595-25-5
УДК 55 : [550.812+622] : 001.895 + [622.276+622.279] (082)
ББК 26.347

ISBN 978-5-907595-25-5 (Том 2)

© РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДочный
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2026

Прогнозирование добычи нефти методом анализа кривых падения с применением языка программирования Python

***Буй Т.Н.* (Ханойский университет горного дела и геологии, buithingan@humg.edu.vn),
Лэ Н.А. (Ханойский университет горного дела и геологии, lengocanh@humg.edu.vn),
Нгуэн Д.М. (Ханойский университет горного дела и геологии,
nguyenduymuoi@humg.edu.vn)***

Аннотация

Прогнозирование объемов извлекаемой нефти и газа является одной из ключевых задач инженера-нефтяника. Известно, что дебит добычи любого месторождения со временем снижается. Когда уровень добычи достигает экономического предела, эксплуатация скважины становится нерентабельной, и ее необходимо останавливать.

Один из широко применяемых и признанных методов прогнозирования добычи – это анализ кривых падения (англ. Decline Curve Analysis, DCA), основанный на экстраполяции истории добычи. DCA позволяет инженерам оценить будущие объемы добычи, определить срок службы скважины и спрогнозировать экономическую эффективность разработки месторождения.

Целью настоящей работы является прогнозирование дебита эксплуатационной скважины 3Р, расположенной в блоке X (Вьетнам), с использованием классических моделей Арпса (экспоненциальной, гиперболической и гармонической). Реализация алгоритма проведена с помощью языка программирования Python.

Ключевые слова

Анализ кривых падения, Арпс, дебит добычи, история добычи, прогнозирование дебита

Теория

Традиционный подход к прогнозированию добычи, имеющий почти столетнюю историю - это анализ кривых падения добычи (DCA), впервые опубликованный Арпсом, и до сих пор широко известный как уравнения Арпса [1], [2], [4]. Методы DCA позволяют моделировать динамику добычи во времени и использовать полученные модели для экстраполяции будущих темпов добычи, а также оценки ожидаемых конечных извлекаемых запасов. Согласно классификации Арпса, существуют три основных типа кривых падения добычи: экспоненциальный, гармонический и гиперболический (см. табл. 1). Каждый из них характеризуется различной формой зависимости между дебитом и временем.

В последние годы использование языка программирования Python играет все более значимую роль в обработке и анализе эксплуатационных данных в нефтегазовой отрасли. Python представляет собой не только популярный язык с открытым исходным кодом, но и мощную платформу с широким спектром специализированных научных библиотек. Эти инструменты существенно упрощают выполнение задач по обработке данных, построению моделей и оценке их точности. Благодаря своей гибкости и высокой вычислительной эффективности, Python позволяет автоматизировать весь процесс анализа кривых падения, снижая трудоемкость вычислений и повышая точность прогнозов эффективности эксплуатации нефтяных месторождений [3].

Данные о дебите скважины 3Р охватывают период с начала добычи - 25 августа 2018 г. по 11 сентября 2019 г. График изменения дебита во времени представлен на рисунке 1. Прогнозирование начато с 52-го дня эксплуатации, тенденция к снижению дебита проявилась наиболее отчетливо.

Таблица 1

Различные формы уравнения Арпса

Зависимость	Гиперболическая	Экспоненциальная	Гармоническая
Зависимость дебита от времени	$q_t = \frac{q_i}{(1 + b d_i t)^{1/b}}$	$q_t = q_i \cdot \exp(-d_i t)$	$q_t = \frac{q_i}{(1 + d_i t)}$
b	b имеет значение, отличное от 0 или 1	$b = 0$	$b = 1$
Параметры	q_t - дебит в момент времени t , баррель/день; q_i - начальный дебит баррель/день; b - показатель снижения; d_i - начальная скорость падения дебита, день ⁻¹ ; t - время, дней.		

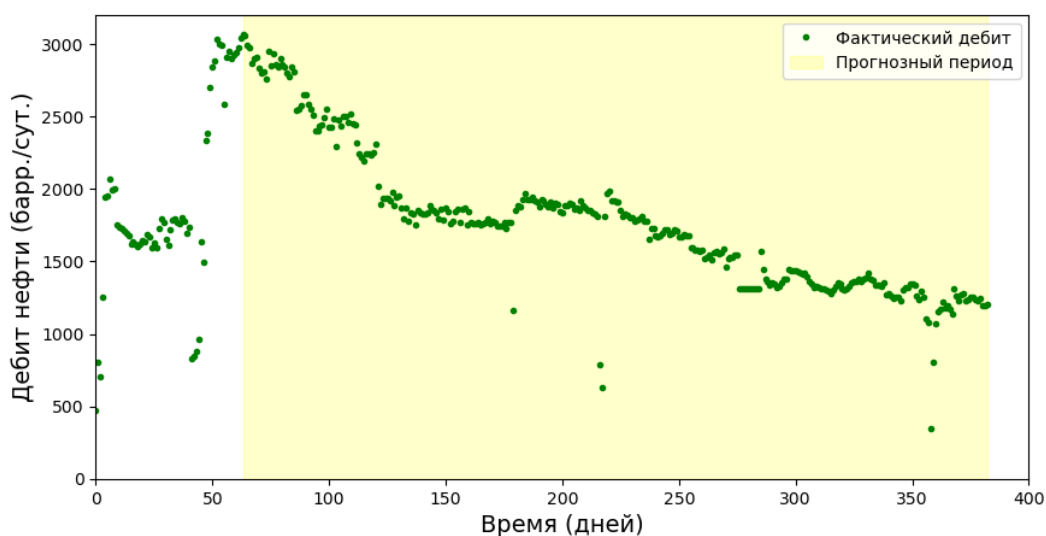


Рисунок 1. График изменения дебита во времени скважины 3Р

Для прогнозирования дебита скважины 3Р в данном исследовании применялись три классические модели падения добычи: экспоненциальная, гармоническая и гиперболическая. Каждая модель реализована как отдельная функция на языке Python в соответствии с математическими уравнениями, описывающими зависимость дебита q_t от времени эксплуатации t , а также параметров начального дебита q_i , коэффициента начального падения d_i и, в случае гиперболической модели – показателя снижения b . Формулы моделей и используемые обозначения приведены в таблице 1.

Для определения оптимальных значений параметров каждой модели применялась функция `curve_fit` из модуля `scipy.optimize` языка Python. Этот инструмент реализует метод нелинейной регрессии наименьших квадратов, позволяющий найти такие параметры модели, при которых сумма квадратов отклонений между расчетной кривой и фактическими данными минимальна.

Полученные оптимальные значения параметров для каждой из моделей представлены в таблице 2. Эти параметры позволяют не только точно аппроксимировать существующую производственную кривую, но и создать надежный прогноз будущих объемов добычи. На

рисунке 2 показаны результаты сопоставления фактического и аппроксимированного дебита для каждой модели, а также прогноз дебита на следующие 365 дней.

Показатели погрешности для различных моделей кривых падения представлены в таблице 3. Данные метрики позволяют количественно оценить точность аппроксимации и сравнить эффективность разных подходов к моделированию.

Результаты сопоставления кривых падения добычи для скважины 3Р с использованием трех классических моделей – экспоненциальной, гармонической и гиперболической – показали значительные различия в точности аппроксимации.

Таблица 2

Результаты оптимальных значений параметров моделей

Модель	q_i , баррель/день	b	d_i , 1/ день
Гиперболическая	3090.9821	2.1957	0.0089
Экспоненциальная	2663.9513	-	0.0028
Гармоническая	2845.3436	-	0.0045

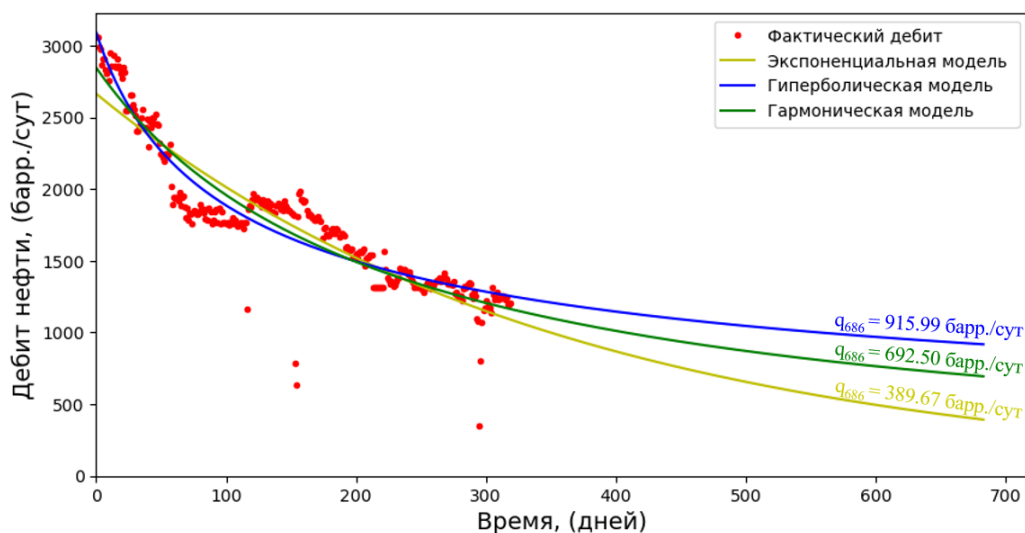


Рисунок 2. Фактический и прогнозируемый дебит по моделям

Таблица 3

Показатели погрешности моделей кривых падения

Вид кривой падения	Средняя абсолютная ошибка (MAE)	Корень средней квадратичной ошибки (RMSE)	Коэффициент детерминации (R^2)
Гиперболическая	119.05	165.34	0.884
Экспоненциальная	141.62	194.22	0.840
Гармоническая	128.71	175.59	0.869

Гиперболическая модель продемонстрировала наилучшие результаты. Она обеспечила наивысшее значение коэффициента детерминации $R^2 = 0,884$, высокую способность модели объяснять дисперсию фактических данных. Средняя абсолютная ошибка (Mean Absolute Error (MAE) составила 119,05 барр./сут), а корень из средней квадратичной ошибки (Root Mean Squared Error (RMSE) – 165,34 барр./сут), что также являются наименьшим значением среди всех моделей, подтверждая высокую точность воспроизведения наблюдаемой тенденции. Гиперболическая модель также дала наибольшее значение начального дебита q_i , а также значение константа показателя снижения $b > 1$, что отражает резкое начальное снижение дебита с последующим более плавным спадом. Благодаря добавлению параметра b , гиперболическая модель обладает высокой степенью гибкости, что делает ее особенно эффективной для описания реальных производственных данных.

Гармоническая модель заняла промежуточную позицию с умеренными значениями ошибок и коэффициентом детерминации $R^2 = 0.869$. Она отражает постепенное снижение дебита во времени.

Экспоненциальная модель показала наихудшие результаты: наивысшие значения ошибок (MAE = 141.62 барр./сут, RMSE = 194,22 барр./сут) и наименьший коэффициент детерминации $R^2 = 0,84$. Простота этой модели, основанной на предположении о постоянной скорости падения дебита, приводит к недооценке долгосрочной добычи, особенно на поздних стадиях эксплуатации.

Отличия между моделями становятся еще более заметными при экстраполяции на 365 дней вперед. Согласно результатам прогнозирования, значения дебита нефти скважины 3Р на последний день прогноза составили:

- по гиперболической модели: 915,99 барр./сут,
- по гармонической модели: 692,50 барр./сут,
- по экспоненциальной модели: 389,67 барр./сут.

Таким образом, гиперболическая модель является наиболее подходящей для описания тренда снижения добычи скважины 3Р и, вероятнее всего, обеспечит более реалистичные прогнозы на поздних стадиях ее эксплуатации.

Выводы

Проведенное исследование показало, что среди трех рассмотренных моделей (экспоненциальной, гармонической и гиперболической) именно гиперболическая модель обладает наибольшей точностью и адекватностью при прогнозировании падения добычи скважины 3Р. Это подтверждается наименьшими значениями средних ошибок (MAE, RMSE) и наивысшим коэффициентом детерминации R^2 , отражающим качество аппроксимации фактических данных. Дополнительно, результаты работы подтвердили эффективность применения языка программирования Python при реализации метода анализа кривых падения, а также при решении задач нефтегазовой инженерии благодаря наличию открытых библиотек.

Библиография

1. Ahmed T. Analysis of Decline and Type Curves // Reservoir Engineering Handbook. – 2019. – p. 1227-1310.
2. Arps J. J. Analysis of Decline Curves // Transactions of the AIME. – 1945. – Vol. 160. – p. 228-247.
3. Kumar A. A Fit-For-Purpose Automated Decline Curve Analysis Using Python and BI Dashboard // Asia Pacific Unconventional Resources Symposium. – 2023. – SPE 217288-MS.
4. Purvis D. C. The Practice of Decline Curve Analysis // SPE/IAEE Hydrocarbon Economics and Evaluation Symposium. – 2016. DOI: <https://doi.org/10.2118/179979-MS>