

## ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КРИВЫХ ПРИТОКА, ПОЛУЧЕННЫХ ПО ДАННЫМ ИСПЫТАНИЯ СКВАЖИН

<sup>1</sup>Зейн Аль-Абидин М.Д., <sup>1</sup>Сохошко С.К., <sup>1</sup>Саранча А.В.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Тюмень, Россия (625000, Тюмень, ул. Володарского, 38), e-mail: sarantcha@mail.ru

Автором Реми были предложены различные эталонные кривые для анализа испытания скважин, но этот метод был разработан для коллекторов с однородным строением, наличием одного пласта. Предложенный метод для эталонных кривых учитывает давление, параметры которого находятся в диапазоне от 0 до 1 и зависят от скорости потока и других свойств. Использование метода эталонных кривых уменьшает дополнительные шаги, которые необходимы для получения параметров любого уравнения. Разработка таких графиков позволяет учитывать поток, не доходящий до поверхности, при изменении давления, вызванного закачиванием или выкачиванием жидкости (воды, нефти или газа) из пласта. Метод Хорнера и старые методы эталонных кривых не могли моделировать случай, когда флюид не может достигнуть поверхности (естественно или с помощью оборудования), и случай, когда скорость потока колеблется. Скин-фактор и объем нефти в стволе скважины могут быть вычислены на основании именно таких эталонных кривых.

Ключевые слова: испытание скважины, испытатель пластов, кривая притока, разведочная скважина

## INTERPRETATION OF SLUG TEST

<sup>1</sup>Zejn Al-Abidin M.D., <sup>1</sup>Sohoshko S.K., <sup>1</sup>Sarancha A.V.

<sup>1</sup>Federal Budget Educational Institution of Higher Education «Tyumen State Oil and Gas University», Tyumen, Russia (625000 Russia, Tyumen, street Volodarskogo, 38), e-mail: sarantcha@mail.ru

The author Ramey were offered different reference curves for the analysis of test wells, but this method was designed for collectors with a homogeneous structure, the presence of the reservoir. The proposed method takes into account for the reference pressure curves which parameters are in the range from zero to one, depending on the flow rate and other properties. The use of standard curves reduces the additional steps that are needed to obtain the parameters of any equation. The development of such charts takes into account the flow of not reaching the surface, the pressure changes caused by pumping or pumping out the liquid (water, oil or gas) from the reservoir. The method of Horner and old methods standard curves could not simulate the case where the fluid cannot reach the surface (naturally or via hardware), and a case where the flow rate varies. Skin factor and the amount of oil in the well bore can be precisely calculated based on such reference curves.

Keywords: well testing, formation tester, slug test, exploration well

Испытатели пласта на трубах (ИПТ) широко используются при разведке и оценке запасов нефтегазовых пластов. Впервые испытание (опробование) скважин испытателем пластов на бурильной колонне было выполнено братьями Джонстон в 1927 г., а соответствующее оборудование для испытания скважин было названо испытателем пласта.

Исследование скважины испытателем пласта, спущенным на бурильных трубах в обсаженную колонной скважину, отличается от работы в необсаженном стволе, но, по существу, обеспечиваются те же самые функциональные возможности. Испытания можно выполнять и при применении каротажного кабеля, проволоки, гибких труб.

Большинство теоретических методов интерпретации кривых притока и восстановления давления, созданных отечественными и зарубежными авторами, не

учитывает технологических и геологических особенностей исследования наклонных и горизонтальных скважин испытателями пластов.

Применение классических способов расчета параметров пласта для анализа результатов испытания скважин подобного типа дает искаженный результат. Обусловлено это тем, что геометрия фильтрационного потока в пласте в случае исследования наклонно-направленных и горизонтальных скважин имеет иной вид, чем для вертикальных, что в значительной мере оказывает влияние на процесс перераспределения давления в скважине и достоверность расчета гидродинамических параметров пласта.

В связи с этим разрабатываются методики определения гидродинамических параметров пластов по результатам исследования наклонно-направленных и горизонтальных скважин, что является актуальной задачей детального научно-теоретического исследования, имеющего значительную производственно-практическую направленность.

Для анализа данных испытания пластов разработаны полулогарифмические и логарифмические кривые Реми [4] для случая, когда уровень жидкости в скважине при притоке не достигает поверхности. Кривые подобного типа также получаются при проведении испытаний путем долива воды в скважину. Проведение такого испытания включает создание мгновенного изменения давления в скважине и измерение изменения давления от времени. Это давление создается либо нагнетанием определенного объема жидкости в скважину, либо откачкой жидкости из скважины. Испытания путем откачки объема жидкости из скважины являются наиболее подходящими для скважин, приток в которых не достигает поверхности или может достигнуть поверхности, но невозможен по механическим причинам. Испытание пластов с коротким периодом притока может быть рассмотрен как испытание с доливом. Типовые кривые на рисунках 1–3 являются решениями уравнения диффузии, описывающими поведение давления в скважине, в которой уровень жидкости во время испытания повышался. Рост уровня жидкости происходит из-за ее накопления в стволе скважины, реагирующей на мгновенное изменение давления в месте вскрытия пласта. Метод Реми учитывает влияние скин-эффекта. Эти кривые отличаются тем, что при построении графиков в различных координатах возможно получение более точной информации для раннего периода замера в течение всей длительности испытания, и при фиксировании – для поздней части кривой. Типовые кривые представлены как соотношение безразмерного показателя давления  $P_{\bar{r}}$  и безразмерной функции времени  $t_{\bar{r}}/C_{\bar{r}}$ .

Анализ эталонных кривых притока аналогичен известному методу Эрлагера [1] при работе с ИПТ или данных закрытия скважины по кривым Реми [4]. Процедура анализа сводится к следующему:

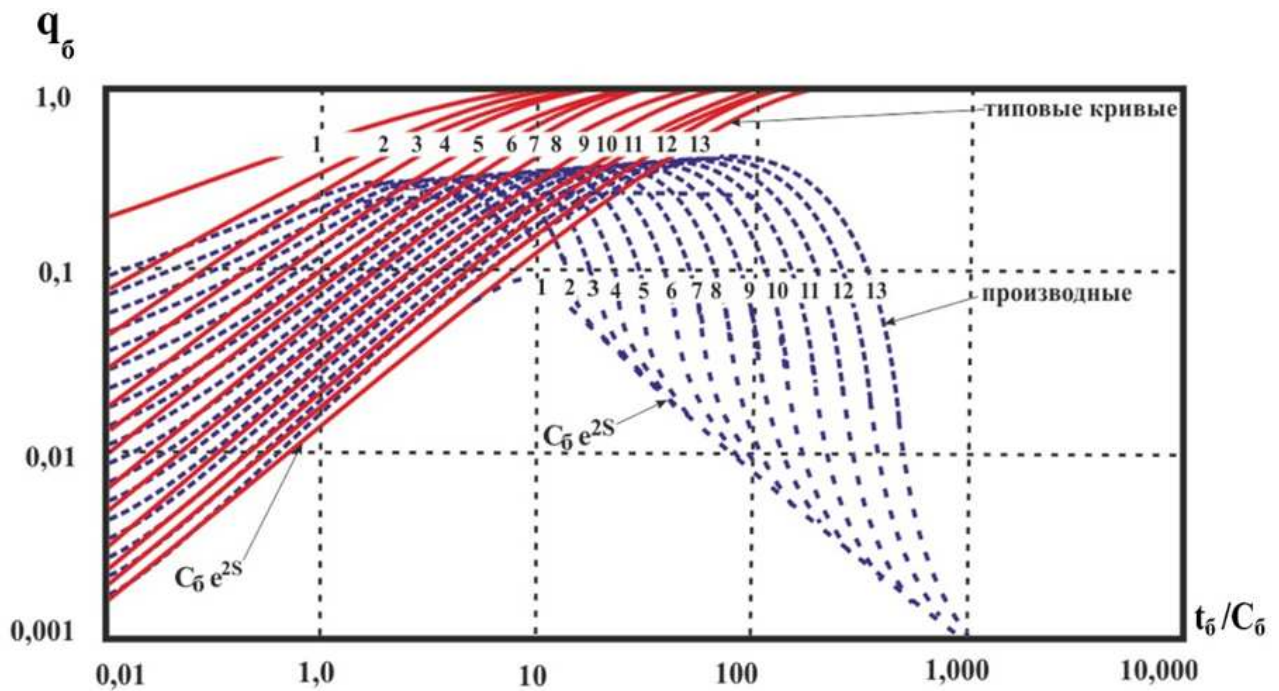


Рис. 1. Логарифмические кривые Реми для анализа ранних данных по притоку во время испытания пласта

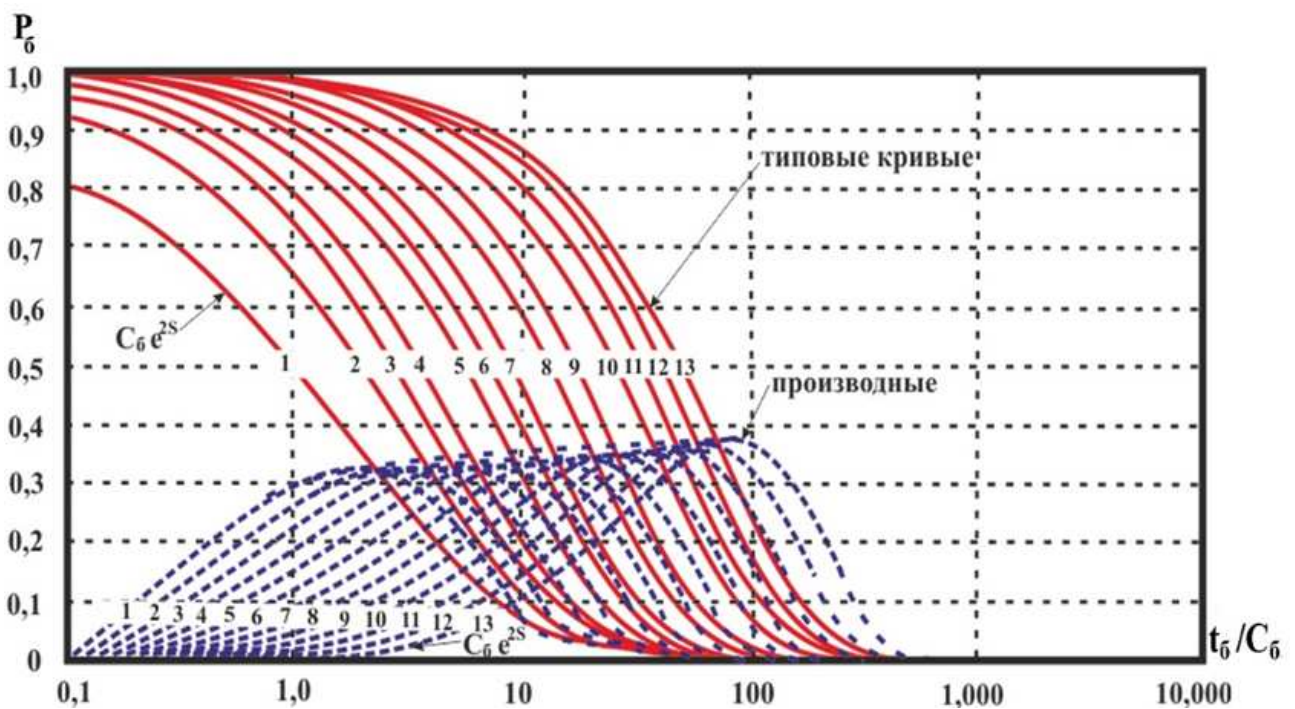


Рис. 2. Полулогарифмические кривые Реми для анализа ранних и поздних данных по притоку во время испытания пласта

Подготавливаются полулогарифмические и логарифмические графики для  $p_6 = f(t_6)$ ,  $p_6 = f(t_6/C_6)$  и логарифмические графики для функции  $q_6 = 1 - p_6 f(t_6/C_6)$ . Наносится график либо на кальку, либо на полулогарифмическую и логарифмическую бумагу с таким же масштабом, как и у кривых притока.

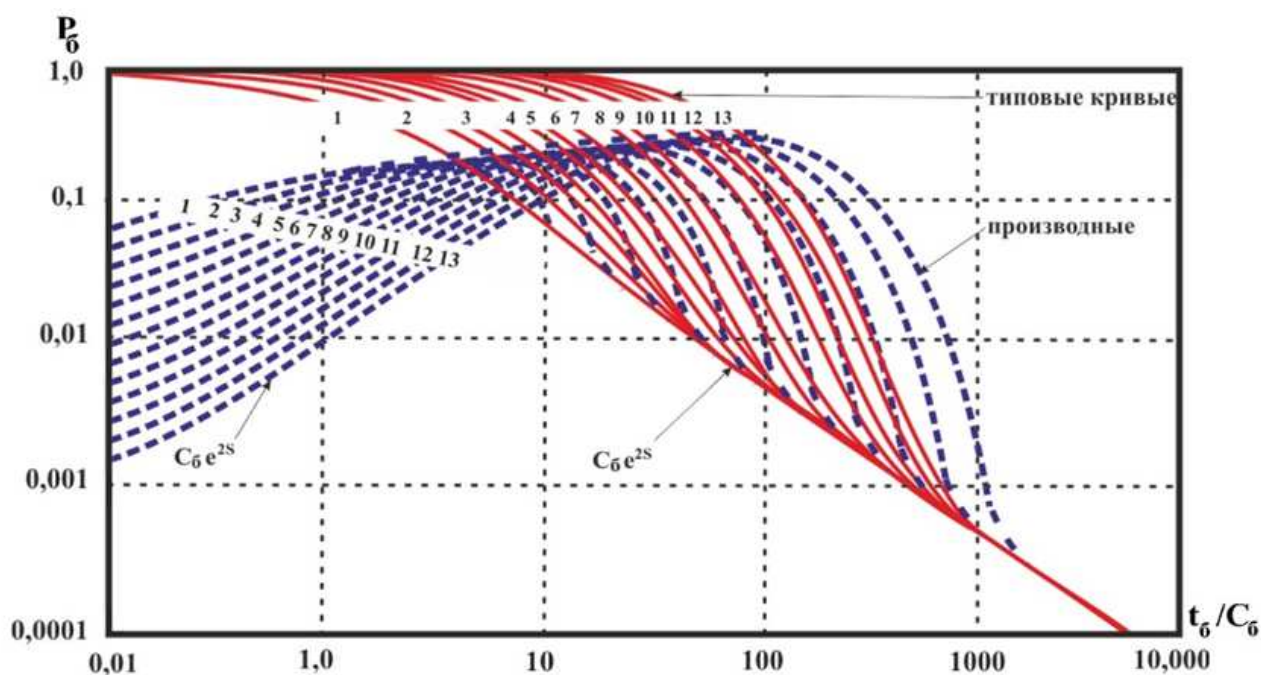


Рис. 3. Логарифмические кривые Реми для поздних данных по притоку во время испытания пласта

Совмещаются графики с данными испытания на подходящие типовые кривые (функций) (рис. 1–3) и находится та кривая (функция), которая наиболее совпадает с графиком фактической кривой. Рисунок 2 позволяет получить высокую точность расчета как начального, так и позднего времени замера, в то время как рисунки 1 и 3 более подходят для анализа только позднего или только начального времени испытания соответственно.

Заметим, что  $p_6$  и  $q_6$  имеют значения между 0 и 1 и не зависят от дебита скважины и свойств пласта. Следовательно, мы просто подбираем одинаковые значения  $p_6$  или  $q_6$  для теоретических кривых (функций) и фактических кривых сдвигаем графики по горизонтали друг относительно друга до совпадения соответствующих кривых. Чтобы уменьшить неоднозначность расчетов параметров, связанных с анализом кривых, рекомендуется одновременное сопоставление  $p_6$  или  $q_6$  со сравнением совпадений по всем трем графикам.

После нахождения совпадающих кривых записывается значение параметра корреляции  $C_6 e^{2s}$ . Значения этого параметра для обоих  $p_6$  и  $q_6$  должны совпадать.

Из наиболее полного совпадения кривых графиков выбираются наиболее подходящий и отмечается  $(p, t_6/C_6)_{\text{мр}}$ .

Вычисляется коэффициент емкости скважины  $c$ , а затем безразмерный коэффициент емкости скважины,  $C_6$ .

Рассчитывается проницаемость по значению временной точки и коэффициента емкости скважины. Оцениваются скин-фактор из параметра  $C_s e^{2s}$  и безразмерный коэффициент емкости  $C_s$ .

Кривые Реми [4] разработаны для однородных однопластовых залежей, но подобные кривые подходят для пластов с двойной пористостью, для скважин с ГРП [6] и многослойных залежей [2]. В случае данного исследования представлен анализ данных ИПТ на бурильной колонне по кривым Реми.

Таким образом, в нашей работе был разработан набор типовых кривых Реми, которые позволяют определять такие параметры, как проницаемость и скин-фактор, по данным испытания нефонтанирующих скважин.

### Список литературы

1. Earlougher, R. C. Jr.: Advances in Well Test Analysis, Monograph Series, SPE, Richardson, Texas (1977) 5, 90–104.
2. Karsaki, K., Long, J.C.S., and Witherspoon, P.A.: «Analytical Models of Slug Tests», Water Resources Research J. (1988) 24, № .1, 115.
3. Kuchuk F.J., M. Onur, F. Hollaender. Pressure Transient Formation and Well Testing, Convolution, Deconvolution and Nonlinear Estimation. Developments in Petroleum Science 57, P. 3, 2010.
4. Ramey, H.J. Jr., Agarwal, R., and Martin, I.: «Analysis of 'Slug Test' or DST Flow Period Data», J. Cdn. Pet. Tech. (July-September 1975) 37.
5. Ramey, H.J. Jr., Agarwal, R.G.: «Annulus Unloading Rates as Influenced by Wellbore Storage and Skin Effect», SPEJ (October 1972) 453; Trans., AIME, 253.
6. Rushing, J.A. et al.: «Analysis of Slug Test Data From Hydraulically Fractured Coalbed Methane Wells». paper SPE21492 presented at the 1991 SPE Gas Technology Symposium, Houston, 23–25 January.

### Рецензенты:

Грачёв С.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», Институт геологии и нефтегазодобычи, ФГБОУ ТюмГНГУ, г. Тюмень;

Стрекалов А.В., д.т.н., профессор кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», Институт геологии и нефтегазодобычи, ФГБОУ ТюмГНГУ, г. Тюмень.