

Азизов Амир Азизович

**Горизонтальные телескопические
скважины для добычи
геотермальных ресурсов**

На сегодня, при разработке геотермальных месторождений, использование горизонтальных скважин приобретает особую актуальность. Разработка месторождений с помощью горизонтальных скважин позволяет решить целый комплекс задач, которые были не под силу при разработке месторождений вертикальными скважинами.

Горизонтальная скважина имеет очевидные преимущества, связанные со значительным увеличением зоны дренирования, что особенно сильно проявляется в пластах малой продуктивной толщины.

Продуктивность горизонтальной скважины растет с её длиной, причем её производительность может быть многократно выше производительности вертикальной скважины.

В настоящее время используются конструкции скважины с одноразмерной эксплуатационной колонной в горизонтальном стволе. Такая конструкция горизонтального ствола, на наш взгляд, не является оптимальной. Для горизонтальной скважины характерно наличие переменного, накапливающегося по длине горизонтального ствола притока флюида из пласта. Поэтому применение ступенчатой конструкции горизонтального ствола, с увеличением диаметра колонны от конечного забоя (рис.1) позволит сократить потери давления на трение в стволе.

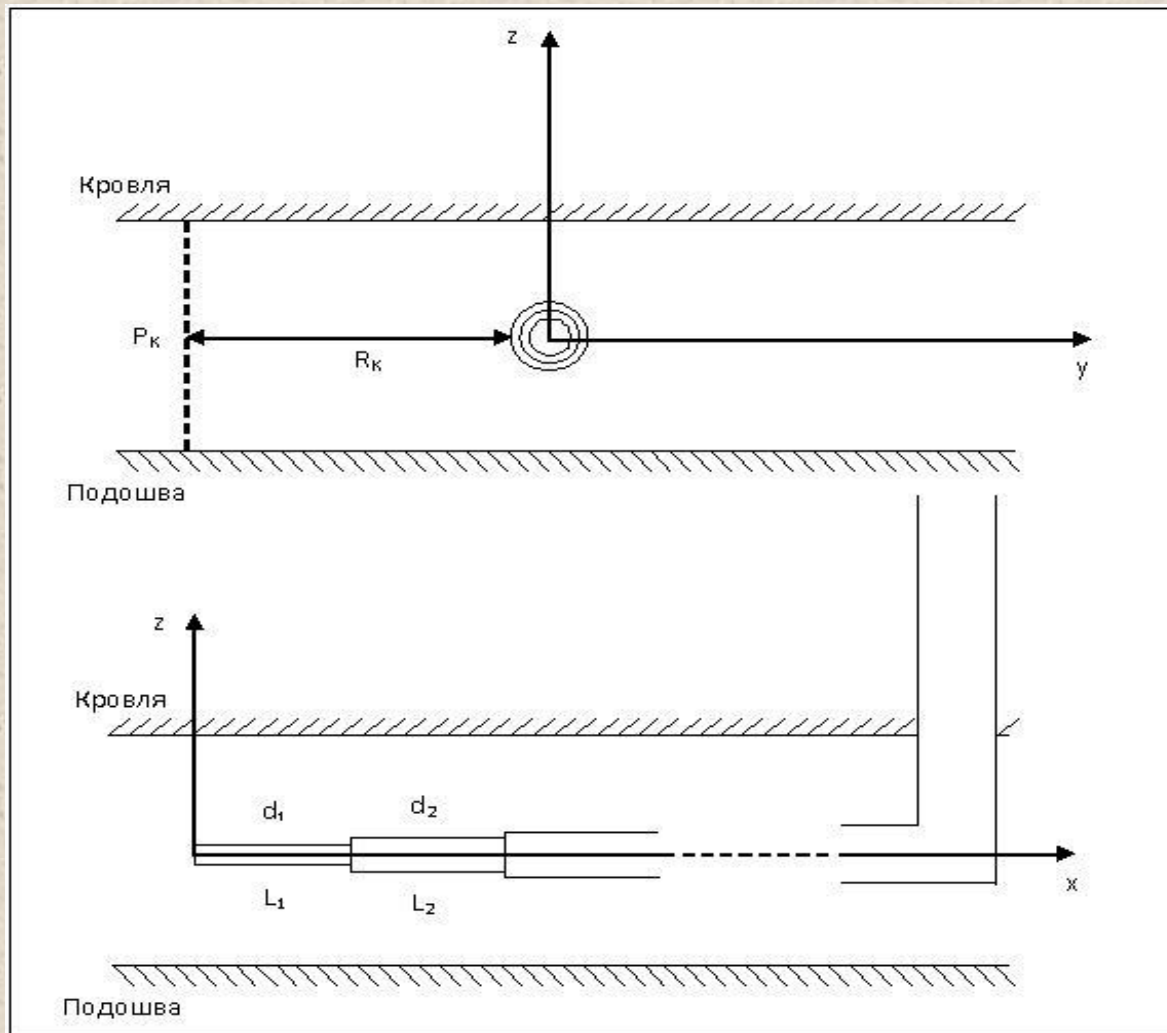


Рис.1. Схема горизонтальной скважины телескопической конструкции

Воспользовавшись уравнением притока жидкости к горизонтальной скважине (Григулецкий В.Г.), была получена формула для определения дебита горизонтальной скважины телескопической конструкции:

$$Q_i(x) = \frac{\sqrt{F^2(x) + 4 \cdot m_1 \cdot S_1(x)} - F(x)}{2 \cdot S_1(x)}$$

$$m_1 = \frac{2 \cdot \left(\Delta P - \sum_{j=0}^{i-1} \Delta P_{TP}^j \right) \cdot \pi \cdot k \cdot h \cdot \rho}{\mu \cdot B_0} \quad S_1(x) = \frac{4 \cdot \lambda \cdot k \cdot h \cdot \left(x - \sum_{j=0}^{i-1} L_j \right)}{\pi \cdot \mu \cdot B_0 \cdot d_i^5} \quad F(x) = \ln \frac{4 \cdot R_k}{x} + \frac{\beta \cdot h}{x} \cdot \ln \frac{\beta \cdot h}{\pi \cdot d_i}$$

где Q – массовый дебит горизонтальной скважины, кг/с; k_G – горизонтальная проницаемость пласта, м²; k_B – вертикальная проницаемость пласта, м²; h – мощность продуктивного пласта, м; ρ – плотность термальной воды, кг/м³; ΔP – перепад давления на границе кругового контура питания и на стенке скважины, Па; μ – вязкость термальной воды, Па·с; B_0 – пластовый объемный фактор; R_k – радиус кругового контура питания, м; L – длина горизонтального ствола, м; d_i , L_i – диаметр и длина соответственно i -й секции горизонтального ствола; ΔP_{TP}^i – гидравлические потери в i -й секции ствола

Были проведены расчеты для Тарумовского геотермального месторождения (табл.1) для разных вариантов горизонтальной одиночной скважины:

а – одиночная скважина с одноразмерным горизонтальным стволом 1000 м ($d=0,147$ м);

б – одиночная скважина с горизонтальным стволом телескопической конструкции состоящим из 2-х секций, каждая по 500 м ($d_1=0,147$ м, $d_2=0,159$ м);

в – одиночная скважина с горизонтальным стволом телескопической конструкции состоящим из 4-х секций, каждая по 250 м ($d_1=0,147$ м, $d_2=0,159$ м, $d_3=0,175$ м, $d_4=0,199$ м);

г – одиночная скважина с горизонтальным стволом телескопической конструкции состоящим из 5-х секций, каждая по 200 м ($d_1=0,147$ м, $d_2=0,159$ м, $d_3=0,175$ м, $d_4=0,199$ м, $d_5=0,222$ м.).

Табл.1. Параметры Тарумовского месторождения

№ п/п	Параметр	Единица измерения	Скважина №2
1	Эффективная мощность пласта	м	2,5
2	Проницаемость пласта	м ²	$1,23 \cdot 10^{-12}$
3	Минерализация вода	г/л	191
4	Пластовая температура	°С	198
5	Пластовое давление	ат	715
6	Глубина скважины	м	5500

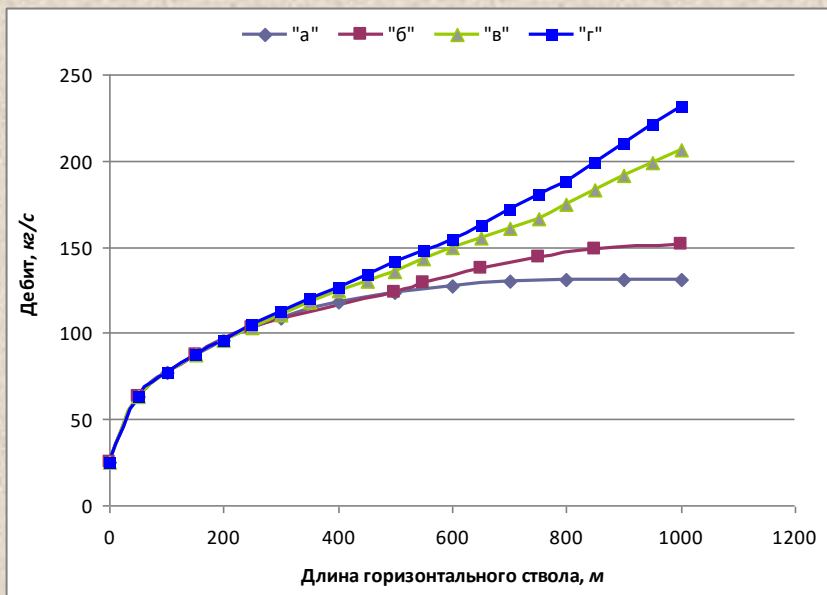


Рис.2. Значения дебита в горизонтальном стволе

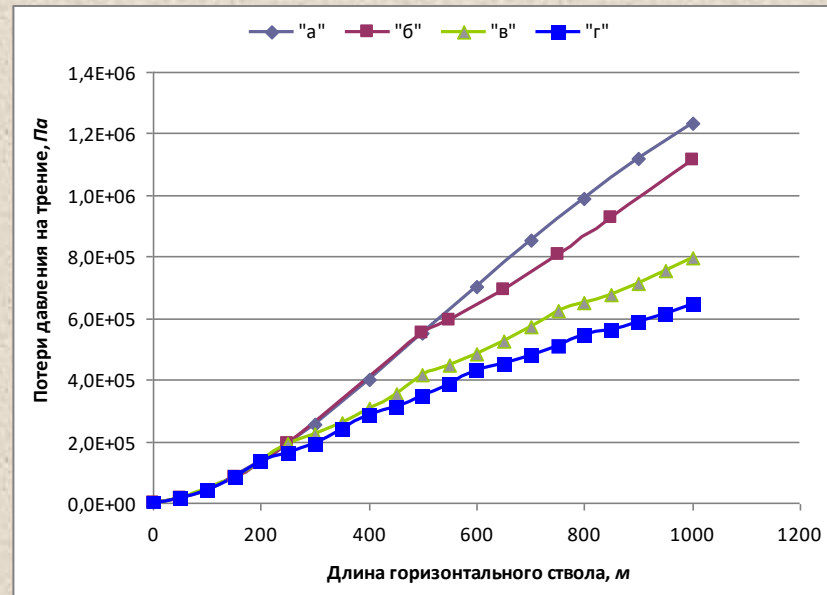


Рис.3. Значения гидравлических потерь давления в горизонтальном стволе

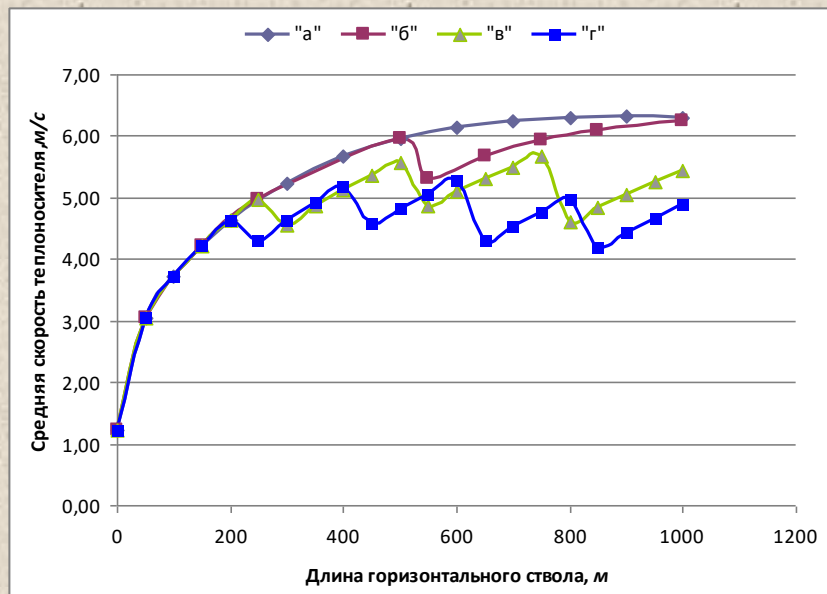


Рис.4. Значения средней скорости движения теплоносителя в горизонтальном стволе

а – скважина с одноразмерным горизонтальным стволом ($d=0,147$ м);

б – скважина телескопической конструкции состоящая из 2-х секций, каждая по 500 м ($d_1=0,147$ м, $d_2=0,159$ м);

в – скважина телескопической конструкции состоящая из 4-х секций, каждая по 250 м ($d_1=0,147$ м, $d_2=0,159$ м, $d_3=0,175$ м, $d_4=0,199$ м);

г – скважина телескопической конструкции состоящая из 5-х секций, каждая по 200 м ($d_1=0,147$ м, $d_2=0,159$ м, $d_3=0,175$ м, $d_4=0,199$ м, $d_5=0,222$ м,).

Для определения стоимости бурения вертикального участка скважины, было получено аналитическое выражение:

$$C_H = 2,1244 \cdot H^4 - 13,164 \cdot H^3 + 36,844 \cdot H^2 + 89,393 \cdot H - 1,5119$$

где H – глубина скважины, м.

Тогда стоимость бурения горизонтального участка, определяем по формуле:

$$C_L = \alpha \cdot (2,1244 \cdot L^4 - 13,164 \cdot L^3 + 36,844 \cdot L^2 + 89,393 \cdot L - 1,5119)$$

где L – длина горизонтального ствола, м; α – коэффициент, учитывающий увеличение стоимости бурения горизонтального участка скважины ($\alpha=1,3$ – 1,6).

Зависимость стоимости бурения скважины от диаметра, можно определить по формуле:

$$C_d = C \cdot 10^{3,5 \cdot d - 0,5}$$

$$C = C_H + C_L$$

где C – общая стоимость бурения одиночной скважины с горизонтальным стволом.

Удельные капитальные затраты составят:

$$F = \frac{C \cdot 10^{3,5 \cdot d - 0,5}}{t \cdot Q}$$

где t – время эксплуатации скважины, с.

Таблица 2. Значения дебита, гидравлических потерь давления, стоимости бурения и удельных капитальных затрат.

Вариант	Q , кг/с	ΔP , МПа	C_L , тыс.долл.	C_d , тыс.долл.	F , отн.ед./кг
а	32,96	2,10	164,70	1570,43	47,65
б	33,87	1,72	155,11	1707,33	50,41
в	54,36	1,32	161,82	2292,43	42,17
г	71,34	1,16	172,23	2749,16	38,54

Выводы:

- Использование горизонтальной скважины телескопической конструкции по сравнению с одноразмерной горизонтальной скважиной позволит добиться больших значений дебита и меньших значений потерь давления на трение и средней скорости движения теплоносителя.
- Увеличение количества секций в горизонтальной скважине телескопической конструкции приводит к дальнейшему росту значений дебита за счет снижения потерь давления на трение.
- Не смотря на увеличение стоимости бурения горизонтальной скважины телескопической конструкции, по сравнению с одноразмерной горизонтальной скважиной, применение такой конструкции оправдано, т.к. это приводит к значительному улучшению эксплуатационных параметров.

Спасибо за внимание!