

*Пуртов С.А.,  
магистрант 2 курс, кафедра РЭНГМ  
Тюменский индустриальный университет  
Россия, г. Тюмень  
Научный руководитель – Вольф А.А.,  
канд. ф.-м. наук, доцент.*

## **АНАЛИЗ СХЕМЫ СИММЕТРИЧНОГО ЭЛЕМЕНТА ПЛАСТА ПРИ ПРОЦЕССЕ SAGD**

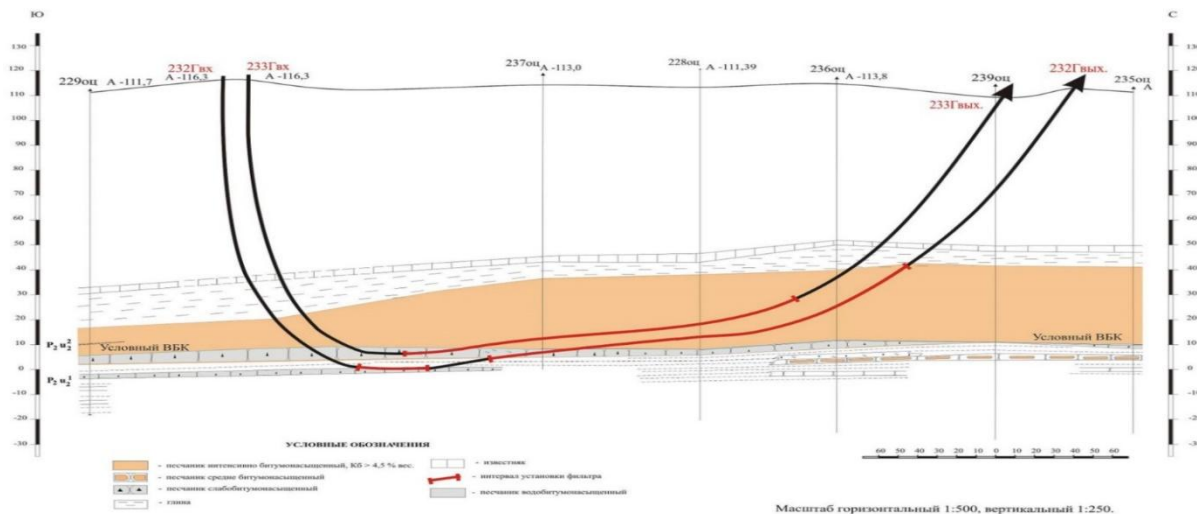
***Аннотация:** в статье приведен пример один из перспективных методов увеличения нефтеотдачи (МУН), парогравитационный дренаж (SAGD), а именно анализ схемы симметричного элемента пласта при процессе (SAGD) в условиях трудноизвлекаемых запасов (тяжелая нефть и битум).*

***Ключевые слова:** SAGD, тяжелая нефть, пар, методы увеличения нефтеотдачи (МУН), парогравитационный дренаж.*

***Annotation:** the article provides an example of one of the promising methods of increasing oil recovery (MUN), steam-gravity drainage (SAGD), namely the analysis of the scheme of the symmetric element of the reservoir during the process (SAGD) in hard-to-recover reserves (heavy oil and bitumen).*

***Keywords:** SAGD, heavy oil, steam, enhanced oil recovery (MUN) methods, steam gravity drainage.*

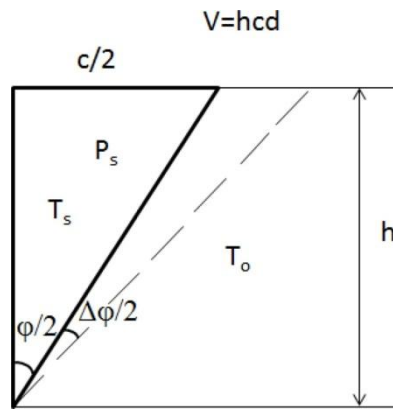
Доля ресурсов тяжелой нефти увеличивается за счет истощения традиционных запасов. Тяжелые нефти и битумы относят к трудноизвлекаемыми запасам, поэтому эти углеводороды требуют разработки новых технологий их эффективного извлечения. Одной из перспективных и многообещающих технологий является парогравитационный дренаж (Steam Assisted Gravity Drainage, SAGD).



**Рисунок 1. Супердлинные ГС по технологии SAGD.**

Он включает в себя несколько этапов. Первый – бурение двух параллельных горизонтальных скважин, из которых одна находится под другой. Второй этап – нагрев верхней или обеих скважин для формирования тепловой связи между скважинами и образования канала с подвижным флюидом и потока нефти от нагнетательной скважины вниз к добывающей через этот канал. Наконец, основной этап заключается в закачке пара через верхнюю скважину и распространение прогретой области – паровой камеры между нагнетательной и добывающей скважинами. Этот этап включает в себя добычу нефти и воды и увеличение паровой камеры.

Принципиальной идеей для упрощения процесса является интегральный анализ процессов внутри паровой камеры. Основой модели является положение, что камера имеет треугольную геометрию с расширяющимся углом  $\varphi$ , а основание этого треугольника совпадает с кровлей пласта в течение всего процесса. Высота треугольника совпадает с мощностью пласта  $h$ , основание треугольника увеличивается в течение процесса, тогда, обозначив длину горизонтальной скважины  $d$ , можно получить объём паровой камеры  $V=hcd$ .



**Рисунок 2. Схема симметричного элемента пласта при процессе SAGD.**

Схематическое изображение симметричной части паровой камеры показано на рисунке 2, где обозначены геометрические параметры процесса. Таким образом, достаточно рассмотреть только половину треугольной камеры, все расчетные величины будут относиться к удельной длине горизонтального ствола (100 м), кроме того, можно пренебречь первой стадией процесса с растущим основанием треугольника и последней стадией языкообразования вблизи кровли пласта, даже если это происходит в реальности.

Согласно интегральному подходу, следует считать температуру, давление и насыщенности фаз в паровой камере как средневзвешенные величины по всей этой области. Флюиды вне камеры неподвижны, пар закачивается через нагнетательную скважину, а добываемый флюид – разогретая нефть и вода. Температура и давление внутри камеры постоянны и равны температуре фазового перехода при пластовом давлении ( $T_s$ ,  $p_r$ ). Величины остальных параметров могут меняться с течением времени.

Необходимые уравнения массового баланса для пара, воды и нефти в камере представлены ниже:

$$\frac{d(\phi V S_w p_w)}{dt} = -Q_w + J_{sw} \quad (1)$$

$$\frac{d(\phi V S_s p_s)}{dt} = Q_s + J_{sw} \quad (2)$$

$$\frac{d(\phi V (1 - S_w - S_s) p_0)}{dt} = -Q_0 \quad (3)$$

где  $\emptyset$  – пористость,  $V$  – объём паровой камеры,  $S_w, S_s$  – насыщенности водой и паром,  $\rho_w, \rho_s, \rho_o$  – плотности воды, пара и нефти,  $Q_w, Q_o$  – массовые дебиты нефти и воды,  $Q_s$  – массовый расход закачиваемого пара,  $J_{sw}$  – массообмен между паровой и водной фазами.

При сложении первых двух уравнений можно исключить  $J_{sw}$  из расчётов, но полный набор уравнений помогает понять физические процессы в камере.

Согласно рассматриваемой логике, тепловой баланс в камере описывается уравнением теплопереноса:

$$\frac{d}{dt} \left( V(\emptyset(S_w C_w(T_s - T_0) p_w + S_s p_s(l + C_s(T_s - T_0)) + (1 + S_w - S_s)C_0(T_s - T_0)p_0) + (1 - \emptyset)C_r(T_s - T_0)p_r) \right) = Q_s l - 2a \left( \frac{V}{h} + \sqrt{\frac{V^2}{h^2} + h^2 d^2} \right) (T_s - T_0) - Q_o C_o(T_s - T_0) - Q_w C_w(T_s - T_0) \quad (4)$$

где  $C_w, C_s, C_o, C_r$  – удельные теплоёмкости воды, пара, нефти и скелета породы,  $T_0$  – начальная пластовая температура,  $l$  – скрытая удельная теплота парообразования,  $a$  – коэффициент теплоотдачи,  $\rho_r$  – плотность скелета породы. Согласно этому уравнению, закачиваемая теплота приводит к повышению температуры скелета породы, нефти в камере, способствует конденсации пара в воду и расходуется на тепловые потери в поровое пространство вне паровой камеры.

## ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Хафизов Р.И., Низаев Р.Х., Бурханов Р.Н. Развитие тепловых методов разработки на месторождениях высоковязкой нефти Татарстана // Вестник ЦКР Роснедра. 2015. № 3. С. 60–64.