

МРНТИ 52.47.19

DOI: <https://doi.org/10.62724/202610606>

Полозов Михаил Брониславович^{*1}

кандидат биологических наук, доцент,
Удмуртский государственный университет,
Ижевск, Россия, michael999@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0002-8258-8973

Борхович Сергей Юрьевич²

кандидат технических наук, доцент,
Удмуртский государственный университет,
Ижевск, Россия, syborhovich@udsu.ru, ORCID ID: 0009-0006-0831-5834

РАЗРАБОТКА СВЕРХВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ МЕТОДОМ SAGD: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Аннотация. В последнее время большое внимание уделяется ускоренному вводу в разработку нетрадиционных источников углеводородного сырья. На территории России имеются большие запасы тяжелых нефтей и природных битумов, являющихся одним из важнейших перспективных источников углеводородного сырья и классифицируемых для налогообложения (НДПИ) как сверхвязкие нефти. Эти запасы сосредоточены на сравнительно небольшой глубине, однако относятся к трудноизвлекаемым. В статье «Разработка сверхвязких нефтей методом SAGD: проблемы и перспективы» рассматривается применение метода паросилового воздействия (SAGD, Steam Assisted Gravity Drainage) для извлечения сверхвязких нефтей. В статье описывается принцип метода SAGD, основанный на закачке пара в горизонтальные скважины для снижения вязкости нефти и её гравитационного дренирования. Подчеркивается эффективность SAGD для разработки залежей, недоступных традиционным методам, на глубине до 600 метров и более. В то же время анализируются существующие технические и экономические проблемы, связанные с применением SAGD, и определяются перспективы дальнейшего развития этой технологии

Ключевые слова: drainage, gravity, steam, сверхвязкие нефти, горизонтальные скважины, битумонасыщенные нефти.

Полозов Михаил Брониславович^{*1}

биология ғылымдарының кандидаты, доцент,
Удмурт мемлекеттік университеті,
Ижевск, Ресей, michael999@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0002-8258-8973

Борхович Сергей Юрьевич²

ғылыми техникалық кандидаты, доцент,
Удмурт мемлекеттік университеті,
Ижевск, Ресей, syborhovich@udsu.ru, ORCID ID: 0009-0006-0831-5834

АСА ЖОҒАРЫ ТҮТҚЫР МҰНАЙЛАРДЫ SAGD ӘДІСІМЕН ИГЕРУ: МӘСЕЛЕЛЕРІ МЕН ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

Аңдатпа. Соңғы уақытта дәстүрлі емес көмірсутек шикізат көздерін жедел түрде игеруге енгізуге үлкен көңіл бөлінуде. Ресей аумағында ауыр мұнайлар мен табиғи

битумдардың ірі қорлары бар, олар көмірсутек шикізатының аса маңызды әрі перспективалы көздерінің бірі болып табылады және салық салу (ПҚӨС – пайдалы қазбаларды өндіру салығы) мақсатында аса тұтқыр мұнайлар ретінде жіктеледі. Бұл қорлар салыстырмалы түрде шағын тереңдікте шоғырланғанымен, оларды өндіру қиын саналады. «Аса жоғары тұтқыр мұнайларды SAGD әдісімен игеру: мәселелері мен перспективалары» атты мақалада аса жоғары тұтқыр мұнайларды өндіру үшін бу-күштік әсер ету әдісін (SAGD – Steam Assisted Gravity Drainage) қолдану қарастырылады. Мақалада мұнайдың тұтқырлығын төмендету және оның гравитациялық дренажын қамтамасыз ету мақсатында горизонталды ұңғымаларға бу айдау қағидасына негізделген SAGD әдісінің жұмыс істеу принципі сипатталған. Дәстүрлі әдістермен игеру мүмкін емес, 600 метр және одан да терең жатқан кен орындарын игерудегі SAGD әдісінің тиімділігі атап көрсетіледі. Сонымен қатар, SAGD технологиясын қолдануға байланысты туындайтын техникалық және экономикалық мәселелер талданып, аталған технологияны одан әрі дамытудың перспективалары айқындалады.

Кілт сөздер. дренаж, гравитация, бу, аса жоғары тұтқыр мұнайлар, горизонталды ұңғымалар, битуммен қаныққан мұнайлар.

Polozov Mikhail Bronislavovich^{*1}

candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Udmurt State University,

Izhevsk, Russia, michael999@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0002-8258-8973

Borkhovich Sergey Yurievich²

candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Udmurt State University,

Izhevsk, Russia, syborhovich@udsu.ru, ORCID ID: 0009-0006-0831-5834

DEVELOPMENT OF ULTRA-HIGH-VISCOSITY OILS BY THE SAGD METHOD: PROBLEMS AND PROSPECTS

Abstract. Recently, much attention has been paid to accelerating the development of unconventional hydrocarbon sources. Russia has large reserves of heavy oils and natural bitumens, which are among the most important promising hydrocarbon sources and are classified as highly viscous oils for mineral extraction tax purposes (MET). These reserves are concentrated at relatively shallow depths but are considered difficult to recover. The article "Steam-Assisted Gravity Drainage (SAGD) Development of Highly Viscous Oils: Challenges and Prospects" examines the use of steam-assisted gravity drainage (SAGD) to extract highly viscous oils. The article describes the principle of SAGD, which involves injecting steam into horizontal wells to reduce oil viscosity and facilitate gravity drainage. It emphasizes the effectiveness of SAGD for developing reservoirs inaccessible to traditional methods, at depths of up to 600 meters and more. It also analyzes the existing technical and economic challenges associated with SAGD and identifies prospects for further development of this technology.

Keywords. drainage, gravity, steam, highly viscous oils, horizontal wells, bitumen-saturated oils.

Введение. Сверхвязкие нефти, отличающиеся высокой вязкостью и плотностью, представляют собой значительный энергетический ресурс, однако их разработка

сопровождается множеством технических и экономических вызовов [1]. Среди существующих технологий, применение метода паросилового воздействия (SAGD, Steam Assisted Gravity Drainage) зарекомендовало себя как одна из наиболее эффективных и перспективных стратегий для извлечения таких сложных углеводородов.

Материалы и методы. На основе анализа практического материала, расчетов технологических процессов.

Результаты и их обсуждение.

Принципы метода SAGD:

Метод SAGD основан на инъекции пара в горизонтально расположенные скважины для разогрева и снижения вязкости нефти. Для его реализации используются две параллельные горизонтальные скважины: одна — подача пара, другая — отвод нефти. Создание пара осуществляется с помощью котлов, которые нагревают воду до температуры около 200–250 °С. Пара проникает в пласты и, конденсируясь, выделяет тепло, что приводит к разогреву окружающей нефти и снижению её вязкости. Таким образом, метод SAGD позволяет добывать нефть с глубины до 600 метров и более, он эффективен для разработки залежей, которые невозможно экономически освоить традиционными технологиями.

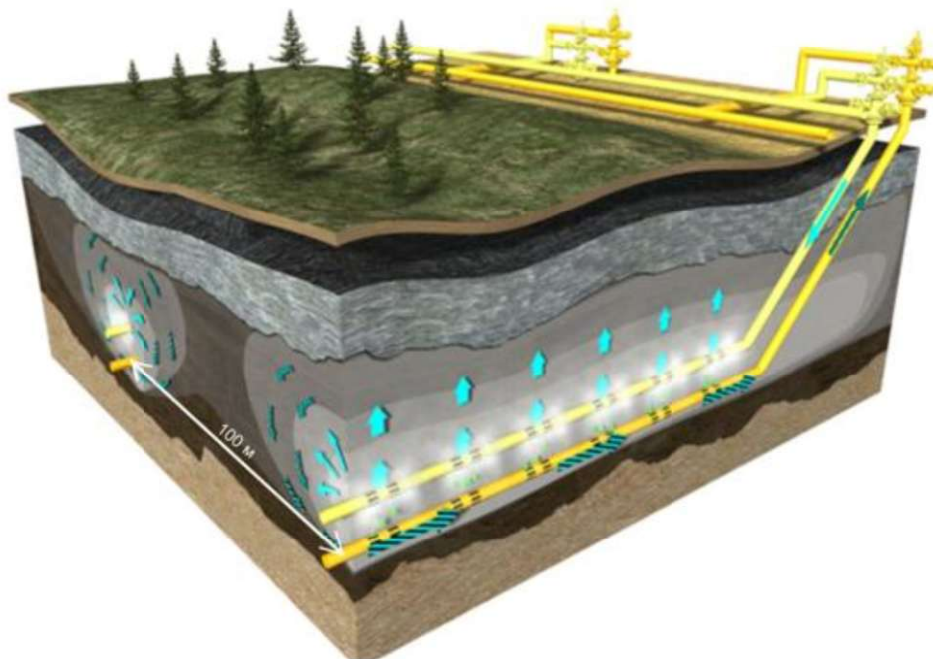


Рисунок 1 Метод SAGD

Преимущества метода SAGD:

1. Высокая эффективность извлечения. Метод увеличивает коэффициент извлечения нефти в два-три раза по сравнению с другими методами, такими как добыча с применением насосов.

2. Снижение воздействия на окружающую среду. В отличие от других методов, SAGD требует меньшего количества воды и менее разрушает экосистему, так как минимизирует наземные работы и факторы, способствующие загрязнению.

3. Экономическая целесообразность. С увеличением цен на нефть и новых технологий SAGD становится все более выгодным для разработчиков, несмотря на высокие первоначальные капитальные затраты.

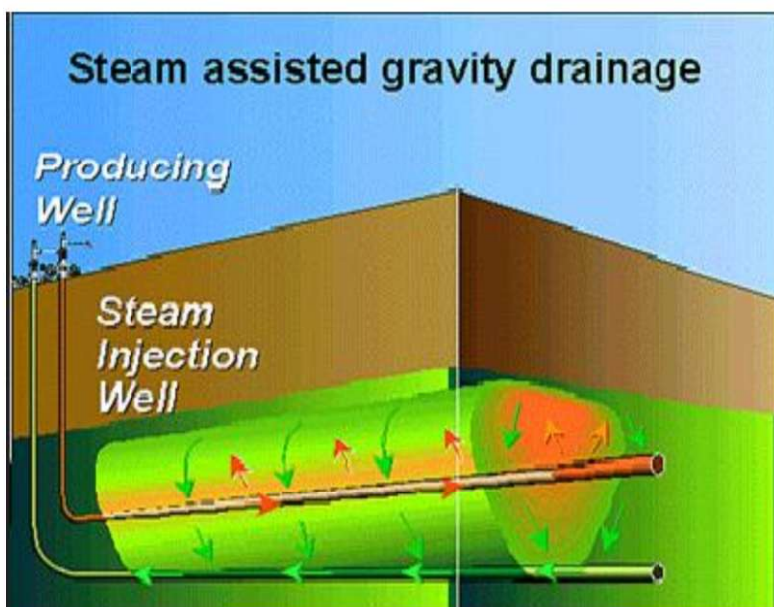


Рисунок 2 Схема залежи

Проблемы и вызовы:

Несмотря на свои преимущества, метод SAGD сталкивается с рядом проблем:

1. Энергетические затраты. Для производственного процесса требуется значительное количество энергии для генерации пара, что может привести к увеличению эксплуатационных затрат и снижению рентабельности.

2. Управление водами. Образование конденсата и необходимость утилизации или повторного использования воды представляют собой сложные технические задачи, требующие разработки эффективных технологий.

3. Экологические риски. Несмотря на меньшую степень воздействия, применение метода SAGD все же может привести к выбросам парниковых газов и другим экологическим последствиям, что делает обязательным проведение комплексных оценок воздействия на окружающую среду.

Перспективы развития:

Современные исследования в области разработки сверхвязких нефтей методом SAGD нацелены на оптимизацию технологий и снижение негативного воздействия на экосистему. Разработка новых материалов для скважин, улучшенных методов инжекции пара и оптимизация схем управления процессами могут значительно повысить эффективность и безопасность применения метода.

Кроме того, использование возобновляемых источников энергии для производства пара, таких как солнечные или ветряные установки, может существенно снизить энергетические затраты и углеродный след процесса.

Опытно - промышленные работы по извлечению природных битумов в Татарстане:

Опытно-промышленные работы по отработке методов извлечения природных битумов в Татарстане начаты в 1978 году [2]. Они проводились на Ашальчинском месторождении.

Основные характеристики месторождений следующие: коллектор-песчаник слабосцементированный со средней проницаемостью 0,5 мкм, пористостью до 30,5%; глубина залегания продуктивного пласта порядка 100 м; толщина пласта до 16 м; битумонасыщенность до 12 мас.% с понижением ее к подошве пласта; пластовая температура 7,5-8°C; давление 0,4 МПа; вязкость битума от 2,5 до 15 тыс.мПа·с; плотность 960-980 кг/м³; наличие в теле залежи водоносных пропластков и свободной воды в поровом пространстве, битумонасыщенные пласты подстилаются водоносными; практически отсутствует газ.

На этом месторождении были разработаны и прошли апробацию технологии

- отбора керна в рыхлых битумоносных песчаниках специально созданным керноотборником, освоения битумных скважин;

- инициирования внутрипластового горения термогазовым генератором, высокочастотным электромагнитным полем, с помощью пара, электронагревательной установкой;

- термоциклического воздействия на битумонасыщенный пластовоздухом, паром и парогазом, площадной закачки пара, парогаса и воздуха, изменения фильтрационных потоков, извлечения ПБ методом низкотемпературного окисления и др.;

- горизонтальные технологии.

Критерии подбора скважин прогнозирование дебита

Средняя эффективная толщина пласта в центральной части залежи составляет 25 м, средняя проницаемость – 2.6 мкм². Нефть тяжелая, высоковязкая – 27350 сПз, плотность – 970 кг/м³. Значение пластовой температуры составляет 8 °С, давления 4,4 атм.

На первой стадии опытно-промышленных работ на Ашальчинском месторождении были пробурены три пары двухустевых горизонтальных скважин, показавших высокую эффективность. Из первой пробуренной пары скважин № 1х-2х добывающая скважина № 2х имеет два устья с длиной горизонтального участка 200 м и выходом забоя на дневную поверхность. Скважина перфорирована и оборудована проволочным песчаным фильтром вплоть до кровли пласта со стороны наклонного устья [3]. Скважина эксплуатируется с дебитом более 20 т/сут при паронефтяном отношении – 2,1-3,0 т/т. Всего с начала эксплуатации скважины отобрано 58,0 тыс.т нефти при накопленном паронефтяном отношении 3,2 т/т. Вторая пара № 3х-4х эксплуатируется с дебитом 24,7 т/сут при текущем паронефтяном отношении – 2,1 т/т. Накопленная добыча составляет 88,1 тыс. т нефти при накопленном паронефтяном отношении 2,3 т/т. Третья пара № 5х-6х эксплуатируется с дебитом 17,1 т/сут при текущем паронефтяном отношении – 1,6 т/т. Накопленная добыча составляет 53,2 тыс. т нефти при накопленном паронефтяном отношении 3,0 т/т.

Суммарная добыча высоковязкой нефти пилотного участка превысила 199 тыс. т при накопленном паронефтяном отношении 2,7 т/т.

Таблица 1 - Эффект от разработки нефтяных месторождений методом парогравитационного дренирования (в т.ч. планирование показателей).

г о д	Добыча, 10 ³ тн			Ве с. об во	К И Н ,	Закачка пара, 10 ³ тн		Фонд скважин на конец года			Дебит, тн/сут		Пр ие м.
	нефти	воды	жидкост и			тек	на к	в с	наг нет		жи д		

	тек	нак	тек	на к	тек	на к	д, %	е д			ег о	д о б.		не фт и		м ³ / сут
1	18, 0	18,0	14 4,4	14 4,7	16 2,7	16 2,7	88, 9	0, 0 0 1	37 9,6	37 9,6	7 4	3 7	37	8,1	73, 3	17 1,0
2	15 1,8	171, 8	99 8,2	11 42, 9	11 52, 0	13 14, 6	86, 7	0, 0 0 9	83 8,0	12 17, 6	7 4	3 7	37	11, 6	87, 0	63, 3
3	17 9,8	351, 6	15 96, 3	27 39, 2	17 76, 1	30 90, 8	89, 9	0, 0 1 8	13 82, 1	25 99, 7	1 0	5 4	54	9,3	91, 9	71, 5
4	19 2,3	543, 9	14 72, 8	42 12, 0	16 65, 1	47 55, 9	88, 5	0, 0 2 8	11 62, 7	37 62, 7	1 0	5 4	54	9,9	86, 1	60, 1
5	19 2,8	736, 7	14 70, 3	56 82, 3	64 63, 1	64 19, 0	88, 4	0, 0 3 8	11 32, 5	48 94, 8	1 0	5 4	54	10, 0	86, 0	58, 6

Вывод: В Татарстане с 1978 года ведутся опытно-промышленные работы по извлечению природных битумов (ПБ), преимущественно на Ашальчинском месторождении. Исследования сосредоточены на разработке и апробации различных технологий добычи ПБ из слабосцементированных песчаников с низкой проницаемостью (0,5 мкм), высокой вязкостью битума (до 15 тыс. мПа·с) и малой глубиной залегания (около 100 м). Были опробованы методы термического воздействия (внутрипластовое горение, термоциклическое воздействие), а также горизонтальные технологии.

В результате были разработаны специализированные технические средства для отбора керна, освоения скважин и контроля технологических процессов. Полученные данные позволяют сделать вывод о возможности извлечения природных битумов из таких трудноизвлекаемых запасов, хотя для широкого промышленного применения необходимы дальнейшие исследования и оптимизация технологий.

Заключение:

Метод SAGD представляет собой важный инструмент в арсенале технологий для добычи сверхвязких нефтей. Несмотря на существующие вызовы, его потенциал для значительной производительности и более низкого воздействия на окружающую среду делает его привлекательным выбором для многих нефтяных компаний. Исследования и инновации в этой области могут помочь справиться с текущими проблемами и обеспечить устойчивое развитие нефтяной отрасли в долгосрочной перспективе.

В современных условиях ужесточения экологических требований и необходимости рационального использования энергетических ресурсов особое значение приобретает повышение энергоэффективности процесса парогенерации, оптимизация режимов закачки пара и совершенствование систем контроля и мониторинга разработки. Внедрение цифровых технологий, методов моделирования пластовых процессов и

автоматизированных систем управления позволяет существенно повысить коэффициент нефтеотдачи и снизить эксплуатационные затраты [4,5].

Кроме того, перспективным направлением является комбинирование SAGD с другими методами теплового и физико-химического воздействия, а также использование альтернативных источников энергии для генерации пара, что способствует снижению углеродного следа проектов. Комплексный научно-технический подход, основанный на анализе геолого-физических условий месторождений и адаптации технологических параметров, обеспечивает повышение эффективности разработки залежей сверхвязких нефтей и расширяет возможности промышленного применения данной технологии.

Таким образом, дальнейшее совершенствование метода SAGD, развитие научных исследований и внедрение инновационных решений будут играть ключевую роль в обеспечении энергетической безопасности и устойчивого развития нефтегазовой отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы генетической классификации битумов/ В.А. Успенский, О.А. Радченко, Е.А. Глебовская и др. Л.: Недра, 1964.-266 с.
2. Каюкова Г.П., Романов Г.В., Муслимов Р.Х. и др. Химия и геохимия пермских битумов Татарстана // М.: Наука, 1999.-С.9-11.
3. Батлер Р.М. Горизонтальные скважины для добычи нефти, газа и битумов. М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010. 536 с.
4. Пименов В.П., Клемин Д.В., Руденко Д.В. Аналитическая модель процесса парогравитационного дренажа // Изв. Высших учебных заведений. Геология и разведка. 2009, №1. С.49-52.
5. Хисамов Р.С., Морозов П.Е., Хайруллин М.Х., Шамсиев М.Н., Абдуллин А.И. Аналитическая модель разработки залежи сверхвязкой нефти методом парогравитационного дренажа // Нефтяное хозяйство, 2015. № 2. С. 62 - 64

REFERENCES

1. Uspenskij V.A., Radchenko O.A., Glebovskaya E.A. et al. Osnovy geneticheskoy klassifikacii bitumov [Fundamentals of genetic classification of bitumens]. Leningrad: Nedra (1964): 266 s. – (In Rus)
2. Kayukova G.P., Romanov G.V., Muslimov R.Kh. et al. Himiya i geohimiya permskih bitumov Tatarstana [Chemistry and geochemistry of Permian bitumens of Tatarstan] // Moscow: Nauka (1999): 9–11. – (In Rus)
3. Batler R.M. Gorizont'nye skvazhiny dlya dobychi nefti, gaza i bitumov [Horizontal wells for production of oil, gas and bitumen]. Moscow – Izhevsk: Institut komp'yuternyh issledovaniy, NIC «Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika» (2010): 536 s. – (In Rus)
4. Pimenov V.P., Klemin D.V., Rudenko D.V. Analiticheskaya model' processa parogravitacionnogo drenazha [Analytical model of steam-assisted gravity drainage process] // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Geologiya i razvedka (2009): No. 1. – P. 49–52. – (In Rus)
5. Hisamov R.S., Morozov P.E., Khajrullin M.Kh., Shamsiev M.N., Abdullin A.I. Analiticheskaya model' razrabotki zalezhi sverhvyazkoj nefti metodom parogravitacionnogo drenazha [Analytical model of development of super-viscous oil reservoir using steam-assisted gravity drainage method] // Neftyanoe hozyajstvo (2015): No. 2. – P. 62–64. – (In Rus)