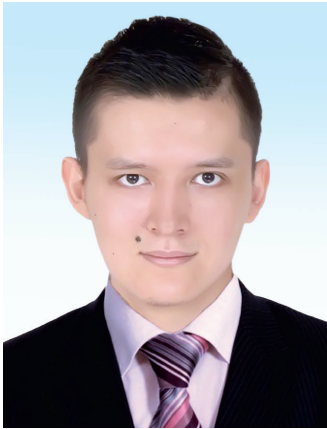


УДК 622.276; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2022-3.05>
<https://orcid.org/0000-0001-7425-7448>
<https://orcid.org/0000-0002-0182-4330>
<https://orcid.org/0000-0001-8025-0824>

СИСТЕМА СКВАЖИННОГО ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ПАРОГРАВИТАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ



К.С. ЗАУРБЕКОВ,
магистр технических наук,
kadmen.95@mail.ru



А.Х. СЫЗДЫКОВ,
Ph.D, профессор,
a.syzdykov@satbayev.university



С.А. ЗАУРБЕКОВ,
кандидат технических наук,
профессор,
s.zaurbekov@mail.ru

SATBAYEV UNIVERSITY

Республика Казахстан, 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22-а

Рассмотрены существующие технологии термоизоляции насосно-компрессорных труб при использовании тепловых методов воздействия на нефтяной коллектор с высоковязкой нефтью, присущих для месторождений Казахстана.

В работе проведен сравнительный анализ и рекомендована технология, повышающая эффективность применения метода парогравитационного воздействия для месторождений Казахстана. В настоящее время, существуют и применяются две основные технологии теплоизоляции колонны насосно-компрессорных труб при использовании метода парогравитационного воздействия, на месторождениях высоковязких нефтей-вакуумные изолированные трубы (Vacuum Insulated Tubing - VIT); - теплоизолированные насосно-компрессорные трубы.

В статье предлагается новый метод, основанный на преобразовании электроэнергии в тепло за счет размещения в колонне насосно-компрессорных труб системы скважинного термоэлектрического модуля. Предлагаемая система скважинного термоэлектрического модуля позволяет поддерживать температуру теплоносителя по всей длине ствола скважины, что позволяет применить метод парогравитационного воздействия до глубин 1500 метров и более.

Конструкция системы скважинного термоэлектрического модуля проста, технологична в применении, надежна в работе и легко тиражируема. Система скважинного термоэлектрического модуля, размещаемого в колонне насосно-компрессорных труб обеспечивает возможность увеличения глубин скважин при применении метода парогравитационного воздействия и характеризуется значительно меньшей стоимостью в сравнении с системами вакуумных изолированных трубы (Vacuum Insulated Tubing - VIT) и теплоизолированных насосно-компрессорных труб. Современные тепловые кабели типа SAMREG 40-2CR производства Ю. Кореи, обеспечивает мощность до 40 Вт/м, что вполне достаточно для поддержания заданной температуры теплоносителя. Кабель характеризуется как саморегулирующийся, нагревательный, греющий, экранированный кабель (в оплетке), работает от напряжение сети 220-240 В, с частотой 50 Гц.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: теплопотери, теплоизоляционный материал, высоковязкая нефть, парогравитационное воздействия, насосно-компрессорные трубы.

ҚОЛДАНЫЛУ ӨРІСІН КЕҢЕЙТУ ЖӘНЕ БУ ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ ӘСЕР ӘДІСІНІҢ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ҮШІН АСЫРҒАН ТЕРМОЭЛЕКТРЛІК МОДУЛЬДІҢ ЖҮЙЕСІ

Қ.С. ЗӘУРБЕКОВ, инженерия магистрі, kadmen.95@mail.ru

А.Х. СЫЗДЫҚОВ, Ph.D, профессор, a.syzdykov@satbayev.university

С.А. ЗӘУРБЕКОВ, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, s.zaurbekov@mail.ru

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ,
Қазақстан Республикасы, 050013, Алматы қ., көш. Сәтпаева, 22

Қазақстан кен орындарына тән жоғары тұтқыр мұнаймен мұнай қабатына әсер етудің термиялық әдістерін қолдана отырып, құбырларды жылу оқшаулаудың қолданыстағы технологиялары қарастырылған.

Жұмыста салыстырмалы талдау жүргізіліп, Қазақстанның кен орындары үшін бу-гравитациялық әсер әдісін қолданудың тиімділігін арттыратын технология ұсынылды. Қазіргі уақытта тұтқырлығы жоғары мұнай кен орындарында бу-гравитациялық әсер ету әдісін қолдана отырып, құбыр бағандарын жылу оқшаулаудың екі негізгі технологиясы бар - вакуумды оқшауланған құбырлар (VIT); - жылу оқшауланған құбырлар.

Бұл мақалада ұңғымалық термоэлектрлік модуль жүйесін құбырлар тізбегіне орналастыру арқылы электр энергиясын жылуға түрлендіруге негізделген жаңа әдіс ұсынылады. Ұсынылған ұңғымалық термоэлектрлік модуль жүйесі ұңғыма оқпанының бүкіл ұзындығы бойынша салқындатқыш температурасын ұстап тұруға мүмкіндік береді, бұл SAGD әдісін 1500 метр немесе одан да көп тереңдікте қолдануға мүмкіндік береді.

Ұңғымалық термоэлектрлік модуль жүйесінің конструкциясы қарапайым, технологиялық жағынан жетілдірілген, пайдалануда сенімді және оңай қайталанатын. Түтіктер тізбегінде орналасқан ұңғымалық термоэлектрлік модуль жүйесі бу-гравитациялық эффект әдісін қолдана отырып, ұңғымалардың тереңдігін арттыру мүмкіндігін қамтамасыз етеді және вакуумды оқшауланған құбырлармен (VIT) және жылу оқшауланған құбырлармен салыстырғанда айтарлықтай төмен құнымен сипатталады. жүйелер. Оңтүстік Кореяда шығарылған SAMREG 40-2 CR типті заманауи жылу кабельдері 40 Вт / м-ге дейін қуат береді, бұл салқындатқыштың қажетті температурасын ұстап тұру үшін жеткілікті. Кабель өзін-өзі реттейтін, жылытатын, жылытатын, экрандалған кабель (тоқылған) ретінде сипатталады, 220-240 В желі кернеуінен жұмыс істейді, жиілігі 50 Гц.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: жылуды жоғалту, жылу оқшаулағыш материал, жоғары тұтқыр май, бу-гравитациялық әсерлер, құбырлар.

DOWNHOLE THERMOELECTRIC MODULE SYSTEM TO EXPAND THE APPLICATION AND INCREASE THE EFFICIENCY OF THE STEAM GRAVITATION INFLUENCE METHOD

K.S. ZAURBEKOV, master of Engineering, kadmen.95@mail.ru

A.KH. SYZDYKOV, Ph.D, Professor, a.syzdykov@satbayev.university

S.A. ZAURBEKOV, candidate of technical sciences, professor, s.zaurbekov@mail.ru

SATBAYEV UNIVERSITY,

Republic of Kazakhstan, 050013, Almaty, st. Satpaeva, 22

The article discusses the existing technologies for thermal insulation of tubing (tubing) when using thermal methods of influencing an oil reservoir with high-viscosity oil, inherent in the fields of Kazakhstan. An urgent problem in the use of steam cycle treatment (CSS), steam gravity treatment (SAGD) and in situ combustion is significant heat loss with increasing well depth, which imposes restrictions on the use of these enhanced oil recovery methods. The large depth of occurrence of productive formations with high viscosity of fluids causes this problem of delivering the coolant to the productive formation with a given steam temperature, since the main indicator of the effectiveness of the use of thermal methods is the temperature of the coolant, in connection with which the solution of the issue of reducing heat losses in the process of delivering the coolant through the tubing string to a productive reservoir is an important technical problem, the solution of which with minimal costs of material resources will increase the interest of mining companies in the application of these methods, namely the SAGD technology.

The paper carried out a comparative analysis and recommended a technology that improves the efficiency of the SAGD method for the fields of Kazakhstan. Currently, there are two main technologies for thermal insulation of the tubing string using the SAGD method, in high-viscosity oil fields - vacuum insulated tubing (Vacuum Insulated Tubing-VIT); - heat-insulated tubing. This article proposes a new method based on the conversion of electricity into heat by placing a borehole thermoelectric module in the tubing string. The proposed downhole thermoelectric module system makes it possible to maintain the coolant temperature along the entire length of the wellbore, which makes it possible to apply the SAGD method to depths of 1500 meters or more.

The design of the downhole thermoelectric module system is simple, technologically advanced, reliable in operation and easily replicable. The downhole thermoelectric module system, placed in the tubing string, provides the possibility of increasing the depth of wells using the SAGD method and is characterized by a significantly lower cost compared to vacuum insulated tubing (VIT) and heat-insulated tubing systems. Modern heat cables of the SAMREG 40-2CR type, manufactured in South Korea, provide power up to 40 W / m, which is quite enough to maintain the desired temperature of the coolant. The cable is characterized as a self-regulating, heating, heating, shielded cable (braided), operates from a mains voltage of 220-240 V, with a frequency of 50 Hz.

KEY WORDS: heat loss, heat-insulating material, high-viscosity oil, steam-gravity effect, tubing.

Введение. В настоящее время наблюдается тенденция ухудшения структуры запасов нефти, за счет истощения легко извлекаемых запасов углеводородов. В связи с этим, начинается разработка высоковязких нефтей, относящихся к трудноизвлекаемым запасам. Процесс разработки месторождений с тяжелой нефтью характеризуется рядом трудностей. Освоение пластов с тяжелой нефтью с больших глубин является актуальной проблемой, для решений которых необходимо учитывать, что добыча тяжелой нефти в ее природном состоянии и обычными методами выкачивания невозможна. Поэтому для увеличения текучести высоковязкой нефти,

перед выкачиванием, необходимо предварительно обработать путем применения растворителей или нагреванием ее внутри пласта.

Наиболее широкое распространение в мире из группы методов повышения нефтеотдачи пластов получили тепловые методы воздействия на нефтяной коллектор. К таким методам относятся: пароциклическая обработка скважины (CSS), парогравитационное воздействие на пласт (SAGD) и внутрипластового горения. По нашему мнению, одним из наиболее эффективных тепловых методов для Казахстана является метод парогравитационного воздействия (SAGD).

На территории Казахстана существуют целый ряд месторождений с высоковязкой нефтью, к основным из которых, можно отнести давно эксплуатируемое месторождение Каражанбас. Применение новой технологии SAGD для разработки продуктивных пластов с высоковязкой нефтью на данных месторождениях представляет большой научный и практический интерес [1–4].

Сущность метода SAGD (Steam Assisted Gravity Drainage) (метод парогравитационного воздействия) заключается в следующем: производится бурение двух горизонтальных скважин расположенных параллельно вблизи подошвы пласта на расстоянии 5 – 10 м друг от друга. Верхняя скважина служит для нагнетания в пласт пара другая скважина является добывающей, как показано на *рисунке 1* [2]. На поверхности раздела паровой камеры и холодных нефтенасыщенных толщину постоянно происходит процесс теплообмена, в результате которого пар конденсируется и образуется водяной конденсат (повышается ее текучесть) и вместе с разогретой нефтью под действием силы тяжести стекает вниз к нижней добывающей скважине.

Однако для внедрения в разработку технологии SAGD должны выполняться следующие условия [3]:

- пласт должен быть литологически однородным;
- эффективная толщина пласта-коллектора должна быть не менее 15 м для возможности бурения пары горизонтальных скважин, расположенных на расстоянии 5 м друг от друга внутри пласта (*рисунком 1*);
- удаленность горизонтальной части стволов скважины от зоны водонефтяного контакта (далее - ВНК);
- высокая проницаемость пласта по вертикали.

Материалы и методы исследования. При строительстве и проектировании скважин для использования тепловых методов одним из важных аспектов является решение вопроса снижения теплопотерь нагретого пара при его доставке от устья до горизонтального участка забоя скважины. При прокачке пара в колонне обычных – насосно-компрессорных труб (НКТ) наблюдаются существенные теплопотери, что в конечном итоге ограничивает по глубине, применение метода SAGD, до 400 – 500 метров.

При этом, отмечается что конструкция труб составляющих колонну НКТ, не в полной мере отвечают производственным потребностям по уровню теплопотерь и надежности конструкции.

В настоящее время, существует и применяется две основные технологии теплоизоляции колонны НКТ при использовании метода SAGD, на месторождениях высоковязких нефтей:



Рисунок 1 – Схема технологии добычи тяжелой нефти методом SAGD [1]

- вакуумные изолированные трубы (Vacuum Insulated Tubing –VIT);
- теплоизолированные насосно-компрессорные трубы.

Технология вакуумных изолированных труб (далее VIT) основывается на размещении в колонне НКТ вторых колонных труб с специальным покрытием материалов для поддержания вакуума между внутренней и внешней колоннами труб, что позволяет существенно снизить потери тепла по сравнению с обычными трубами из голы стали.

На *рисунке 2* показан разрез канала труб, сформированный по технологии VIT.

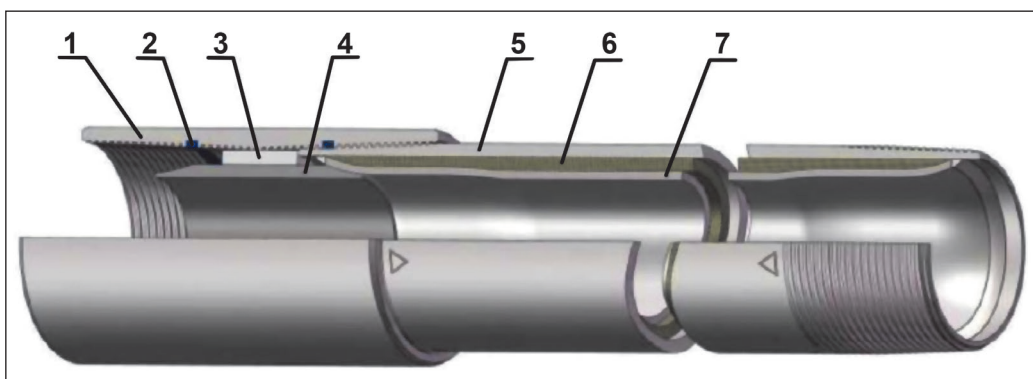


Рисунок 2 – Разрез канала труб, сформированный по технологии VIT

- 1 – муфта (для внешней трубной резьбы); 2 – уплотнительное кольцо (только для резьбы); 3 – изолятор; 4 – изоляционный узел (L80); 5 – наружная труба; 6 – вакуумное кольцевое пространство, заполненное материалом огнеупорной изоляционной оболочки; 7 – внутренняя труба

Таким образом, метод VIT заключается в спуске колонны, сформированной из двух колонн труб, зазор между которыми заполнен специальным материалом, образующим герметизированное пространство между ними, образуя своего рода «термокейс», в котором создается вакуум.

Приведенные результаты исследований технологии VIT [5] показывают, что:

- снижаются теплопотери, обеспечивая оптимальное качество закачки пара по всей длине скважины в нефтяной пласт;
- минимизируются тепловое напряжение на обсадную колонну скважины и цементное кольцо, тем самым повышая срок их службы;
- оптимизируются циклы пароциклической стимуляции продуктивного пласта для улучшения общей экономики проекта.

Технология VIT получила коммерческую реализацию еще в 1984 г. и была реализована китайской нефтегазовой компанией PetroChina. С того времени около 9 250 000 погонных метров НКТ, изготовленных по технологии VIT от компании PetroChina было установлено на месторождениях тяжелой нефти в Китае для термических методов добычи. Достигнутый экономический эффект в первые дни коммерческой реализации проекта VIT, обосновал необходимость проведения дальнейших исследований по отработке улучшенных свойств производственных процессов, повышения качества изоляционных свойств и поиск конструктивных схем заканчивания для дальнейшего применения технологии VIT. В процессе исследований было предложено существенное улучшение вакуумных свойств, уменьшение теплопотерь путем улучшенных изоляционных свойств [5].

Результаты полевых исследований показали, что потери тепла с применением технологии VIT позволяют снизить их потери в 2,5 – 4 раза по глубине скважины (см. таблицу 1), причем снижение теплопотерь наблюдается с увеличением глубины скважины.

К недостаткам данной технологии, по нашему мнению, относится большой собственный вес колонны труб, выполненной в виде «термокейса», что ограничивает глубину ее спуска, высокая стоимость производства труб такой конструкции в сравнении с обычными НКТ. Также в ряде работ [4,5] отмечается, что трубы с «вакуумированным межтрубным пространством» имеют повышенный собственный вес и не могут быть применены при глубинах скважин более 1500 метров.

Таблица 1 – Полевые данные для расчета потерь тепла [5]

Глубина нефтяной скважины, м	Теплопотери нефтяных скважин (кДж*кг ⁻¹)	
	V-1 (обычная голая труба)	V-2 (VIT)
0	230,48	92,24
100	201,58	75,54
200	169,46	58,34
300	133,44	40,79
400	92,75	22,68
500	0	0

Технология теплоизолированных НКТ основана на создании вокруг паронесущей колонны НКТ теплоизолирующей рубашки из материала на основе базальта. Данная технология подробно описана в работах [6,7], отмечается что необходимо разработать эффективную теплоизоляцию НКТ из материалов, обладающих низкой теплопроводностью, плотностью и стоимостью материала и технологии его нанесения. Этим требованиям отвечает теплоизоляционный материал на основе базальтового волокна, имеющий низкую плотность и позволяющий работать при температурах до 750 °С.

Состав базальтового волокна включает в себя целый ряд материалов, приведенных в *таблице 2* [6].

Таблица 2 – Химический состав теплоизоляционных материалов на основе базальтового волокна [6]

Состав базальтового волокна	SiO ₂ кремнезем, %	48 – 52
	Al ₂ O ₃ глинозем, %	16 – 18
	Fe ₂ O ₃ , %	7 – 11
	CO, %	7 – 10
	MgO, %	4 – 8
	TiO ₂ , %	1 – 2
	Na ₂ O+K ₂ O, %	3 – 5

Данный состав теплоизоляционный материалов имеет пористость 93%, что обуславливает низкую плотность до 125 кг/м³, при этом теплоизоляционный материал на основе базальтового волокна проявляет большую сопротивляемость высоким температурам и химически стабилен.

Авторами работы [7] отмечается, что покрытие длинномерных НКТ нельзя изготовить из сплошных цилиндрических колец, а только в виде скорлуп длиной не более 1 м, что существенно усложняет технологию их нанесения на НКТ и увеличивает срок операции нанесения.

На *рисунке 3* показаны готовые цилиндрические скорлупы, установленные на НКТ.



Рисунок 3 – Общий вид готовых цилиндрических скорлуп – а; вид скорлуп установленных на трубу – б [7]

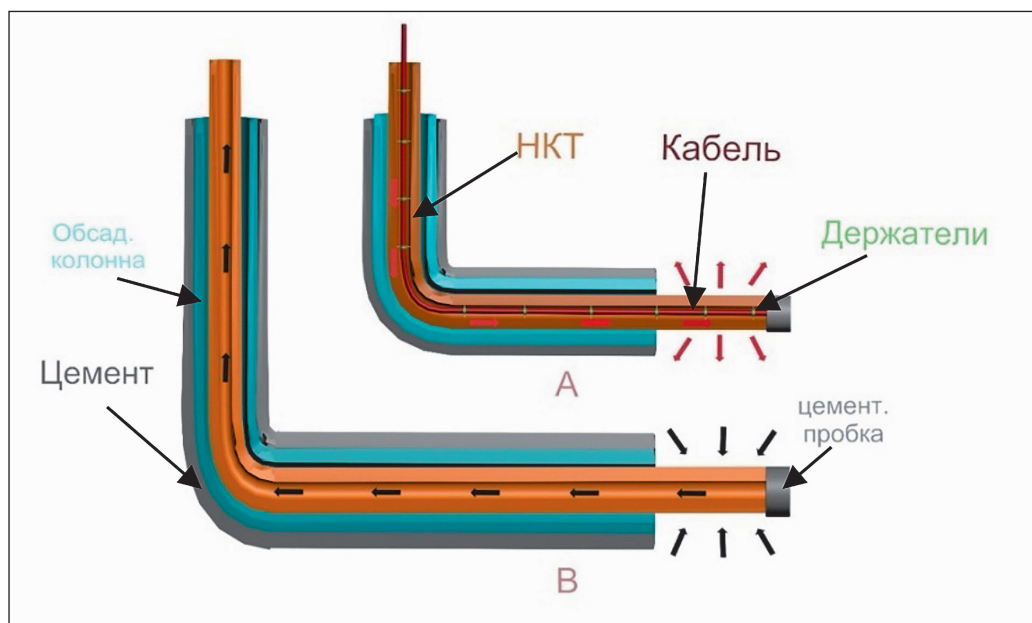
Данное направление по снижению теплопотерь за счет утепления колонны НКТ теплоизоляционным материалом требует проведения дальнейших исследований, в частности, нет данных как теплоизоляционный материал на основе базальтового волокна взаимодействует с жидкостью (водоконденсатом) при длительном его нахождении в скважине.

Также следует отметить, что существенно уменьшается поперечное проходное сечение кольцевого канала скважины, возрастает давление которое будет способствовать насыщению теплоизолирующего материала жидкостью или водоконденсатом и при этом существенно снизятся теплоизоляционные свойства материала, повысится вес колонны, что может привести к деформации теплоизоляционного слоя и перекрытию поперечного сечения скважины. Также необходимо дальнейшая отработка технологии нанесения теплоизоляционный материал на основе базальтового волокна на колонну НКТ большой длины.

Результаты и обсуждение. Авторами предлагается метод, основанный на преобразовании электроэнергии в тепло за счет размещения в колонне НКТ системы скважинного термоэлектрического модуля.

Система скважинного термоэлектрического модуля представлена на *рисунке 4* [8].

Техническая задача состоит в снижении потерь тепла в процессе закачки пара по колонне НКТ и снятии ограничений по глубине применения метода SAGD. Система включает в себя нагревательный плоский кабель, проходящий через длину вертикального, наклонно-направленного и горизонтального участков колонны НКТ, а также держатели для обеспечения размещения кабеля в центре поперечного внутреннего сечения НКТ, по которому закачивается пар [9–12].



**Рисунок 4 – Схема система скважинного термоэлектрического модуля:
А – нагнетательная скважина; В – добывающая скважина**

Система скважинного термоэлектрического модуля, размещаемого в колонне НКТ состоит из обсадной колонны 1, размещенной в ней колонны НКТ 2, по центру внутренней полости которой устанавливается саморегулирующийся нагревательный кабель 3, закрепляемый при помощи держателей 4. Нагревательный кабель подключается к сети генератора 5, обеспечивающего напряжение 220 В, устанавливаемый вблизи устья скважины. При этом в каждую трубу вертикального участка колонны НКТ устанавливается по три держателя, а в наклонно-направленный и открытом горизонтальном участки – по пять, что позволяет надежно обеспечить центральное расположение кабеля внутри колонны НКТ.

При спуске колонны НКТ в скважину через каждую трубу пропускается кабель и устанавливаются держатели, до момента достижения колонной НКТ проектной глубины, затем кабель подключается к сети 220 В и в колонную НКТ через устьевую арматуру начинают закачивать нагретый пар. По мере движения пара по стволу скважины происходят теплопотери за счет передачи части тепла колонне НКТ, при этом пар одновременно подогревается путем высокого нагрева тела кабеля до температуры 110°С.

Кабель обеспечивает мощность 40 – 50 Вт на 1 м длины, что обеспечивает температуру его нагрева до 110°С и позволяет довести до продуктивного пласта пар практически с заданной на устье скважины температурой. При этом, данное техническое решение способствует расширению области применения «метода парогравитационного воздействия на пласт», получившего в зарубежной литературе название «метод SAGD», за счет возможности преодоления основного ограничивающего его применение фактора, а именно предельной глубины залегания нагнетательной и добывающей скважин 500 – 600 м, из-за потерь тепла по колонне НКТ в скважине [13–15].

В настоящее время проводятся экспериментальные исследования применения системы скважинного термоэлектрического модуля при методе SAGD.

Реализация предложенной системы позволит обеспечить значительное увеличение температуры пара в горизонтальном открытом участке с нагнетательной скважины в сравнении с температурой пара в скважине, не имеющей системы скважинного термоэлектрического модуля при методе SAGD.

Конструкция системы скважинного термоэлектрического модуля проста, технологична в применении, надежна в работе и легко тиражируема.

Выводы. Технический результат от использования предлагаемой системы скважинного термоэлектрического модуля заключается в обеспечении поддержания температуры закачиваемого пара по всей длине колонны НКТ и доведения пара до продуктивного пласта с заданной температурой, тем самым повышая эффективность работы парогенераторной установки за счет поддержания заданной температуры пара вследствие его постоянного подогрева по всей длине колонны НКТ.

Система скважинного термоэлектрического модуля, размещаемого в колонне НКТ обеспечивает возможность увеличения глубин скважин при применении метода SAGD и характеризуется значительно меньшей стоимостью в сравнении с системами вакуумных изолированных трубы (Vacuum Insulated Tubing – VIT) и теплоизолированных НКТ.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Заурбеков К.С. Возможности применения метода SAGD для месторождений высоковязких нефтей и природного битума Казахстана // Труды Международной научно-практической конференции «Сатпаевские чтения. – 2017. Научное наследие Шахмардана Есенова». – Алматы: КазННТУ, 2017. – С. 286-289. [Zaurbekov K.S. Vozmozhnosti primeneniya metoda SAGD dlya mestorozhdenij vysokovyazkih neftej i prirodnoho bituma Kazahstana // Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Satpaevskie chteniya. – 2017. Nauchnoe nasledie SHahmardana Esenova». – Almaty: KazNITU, 2017. – S. 286-289.]
- 2 Заурбеков К.С., Логвиненко А. Обзор и анализ научных статей по парогравитационному воздействию на пласты высоковязкой нефти // Труды международной научно-практической конференции «Сатпаевские чтения – 2017. Научное наследие Шахмардана Есенова». – Алматы: КазННТУ, 2017. – С. 258-261. [Zaurbekov K.S., Logvinenko A. Obzor i analiz nauchnyh statej po parogravitacionnomu vozdeystviyu na plasty vysokovyazkoj nefti // Trudy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Satpaevskie chteniya – 2017. Nauchnoe nasledie SHahmardana Esenova». – Almaty: KazNITU, 2017. – S. 258-261.]
- 3 Технология добычи «тяжелой» нефти // Материалы Евразийского энергетического форума ConocoPhillips. – Астана, 2008. – С. 362-365. [Tekhnologiya dobychi «tyazhelej» nefti // Materialy Evrazijskogo energeticheskogo foruma ConocoPhillips. – Astana, 2008. – S. 362-365.]
- 4 Sadler K.W. An EUB Review of In Situ Oil Sands Bitumen Production // SPE paper 30240-MS presented at SPE International Heavy Oil Symposium, 19-21 June, Calgary, Alberta, Canada. - 1995.PaperNumber: SPE-30240-MS.
- 5 Козуб Н. В каких передовых технологиях извлечения тяжелой нефти нуждается Казахстан. <https://pandia.ru/text/82/087/11706.php> [Kozub N. V kakih peredovyh tekhnologiyah izvlecheniya tyazhelej nefti nuzhdaetsya Kazahstan.]
- 6 Пшеницын М. Метод парогравитационного дренажа (SAGD) // Материалы «XVIII международной специализированной выставки газовой промышленности РосГазЭкспо». Санкт-Петербург, 2014. – С. – 425-428. [Pshenicyn M. Metod parogravitacionnogo drenazha (SAGD) // Materialy «XVIII mezhdunarodnoj specializirovannoj vystavki gazovoj promyshlennosti RosGazEkspo». Sank-Peterburg, 2014. – S. – 425-428.]
- 7 Рузин Л.М. Методы повышения нефтеотдачи пластов (теория и практика). – Ухта: УГТУ, 2014. – 127 с. [Ruzin L.M. Metody povysheniya nefteotdachi plastov (teoriya i praktika). – Uhta: UGTU, 2014. – 127 s.]
- 8 Shashank Karra, SPE; Mike Chudiak, ANSYS Canada Ltd; Apoorv Sinha and Greg Boser, SPE, zEroCor Tubulars Inc. SAGD Vacuum Insulated Tubing vs. Bare Tubing - Concentric and Eccentric Configurations: A Comparative Thermal Computational Fluid Dynamics Study. SPE-170177-MS, 2014.
- 9 Yongfeng Zh., Yuexin L., Bohai Equipment Liaohe Thermal Recovery Machinery; Jon H Xiao, Eric Klotz, and Jim Shen, ANDMIR Group Canada Inc. Vacuum Insulated Tubing in Thermally Assisted Heavy Oil Production. SPE-178483-MS, 2015.
- 10 Баданина Ю.В. Разработка и исследование теплоизолирующих конструкций трубопроводов на основе коротких базальтовых волокон // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2014. – Вып. 2. – С. 13 – 17. [Badanina Yu.V. Razrabotka i issledovanie teploizoliruyushchih konstrukcij truboprovodov naosnove korotkih bazal'tovyh volokon // Inzhenernyj zhurnal: nauka i innovacii. – 2014. – Vyp. 2. – S. 13 – 17.]

- 11 Комков М.А., Баданина Ю.В., Тарасов В.А., Филимонов А.С. Анализ структурных и теплофизических характеристик высокопористой базальтовой теплоизоляции насосно-компрессорных труб // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2017. – Вып. 1. – С. 1 – 11. [Komkov M.A., Badanina YU.V., Tarasov V.A., Filimonov A.S. Analiz strukturnyh i teplofizicheskikh harakteristik vysokoporistoj bazal'tovoj teploizolyacii nasosno-kompressornyh trub // Inzhenernyj zhurnal: nauka i innovacii. – 2017. – Vyp. 1. – S. 1 – 11.]
- 12 Shanqiang, L. and Baker A., Optimizing Horizontal-Well Steam-Simulation Strategy for Heavy-Oil Development, SPE 104520, SPE East. Reg. Meet., Canton USA, Oct. 2006.
- 13 Макиенко Г.П. Кабели и провода, применяемые в нефтегазовой индустрии. -Пермь: Стиль – МГ, 2004. – 560 с. [Makienko G.P. Kabeli i provoda, primenyaemye v neftegazovoj industrii. -Perm': Stil' – MG, 2004. – 560 s.]
- 14 Макиенко Г.П. Кабели нагревательные и борьба с отложениями парафина при добычи нефти / Пермская область для нефтегазовой области. – Пермь: Стиль – МГ, 2002. – 176 с. [Makienko G.P. Kabeli nagrevatel'nye i bor'ba s otlozheniyami parafina pri dobychi nefti / Permskaya oblast' dlya neftegazovoj oblasti. – Perm': Stil' – MG, 2002. – 176 s.]
- 15 Eltherm: резистивный кабель. <http://www.teplydom.info/katalog/eltherm/eltherm-rezistivnyj-kabel.html> [Eltherm: rezistivnyj kabel'.]