

ТЕРМОГАЗОВЫЙ МЕТОД УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ

Предшествующие 5 лет ознаменовались быстрым восстановлением высоких докризисных уровней добычи нефти в стране. В значительной мере это достижение обязано росту мировых цен на нефть. Немаловажно и то, что большинство нефтяных компаний было обеспечено значительными высокопродуктивными (активными) запасами нефти, потенциал годовой добычи которых в 2000 г. составлял 400 – 450 млн. тонн. Именно интенсификация выборочной отработки таких запасов – «снятие сливок» – и позволила не только быстро нарастить добычу нефти в стране, но и минимизировать затраты на нее.

Вместе с тем, в течение всего постсоветского периода сохраняются негативные процессы в воспроизводстве сырьевой базы нефтедобычи, как в поиске новых месторождений, так и в достижении максимально возможной степени извлечения нефти из уже открытых и находящихся

в разработке месторождений. Прирост извлекаемых запасов нефти за счет разведочных работ существенно меньше ее добычи и списания запасов, вследствие чего потери извлекаемых запасов уже превысили 4 млрд. тонн. Основная причина – сворачивание разведочных работ, направленных на открытие новых месторождений при одновременном активном «проедании» запасов, подготовленных еще в советские времена (Концепция..., 2006).

В то же время продолжается многолетняя негативная тенденция снижения проектной нефтеотдачи – основного показателя рационального использования сырьевой базы нефтедобычи. Вследствие этого в последние годы ее средняя величина уже снизилась почти в 1,5 раза по сравнению с 1960-ми гг. и стала ниже, чем в США, где нефтеотдача много лет растет, хотя структура запасов хуже нашей. В целом уже потеряно около 15 млрд. тонн потенциальных

Пласт	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	B ₂	T ₁	T ₂
	qn/qж	qn/qж	qn/qж	qn/qж	qn/qж	qn/qж	qn/qж
Ср. эффект. нефтенас. толщина, м	1,5	4,9	6,1	1,9	4,6	9	4,3
Проницаемость, мкм ²	0,021	0,032	0,073	0,006	0,556	0,024	0,021
Средний дебит по данному пласту в скважинах совм. экспл., т/сут	1,2/1,9	3,4/4,4	10,4/19,7	4,4/14,2	10,4/43,7	12,6/71,1	8,9/50,9
Обводненность, %	37,8	24,3	47,1	69,0	76,2	73,0	65,0
Средний дебит скважин, эксплуатирующих только данный пласт, т/сут	0,07/8,5	4,7/7,1	33,3/46,8	6,4/10,7	33,1/130,2	14,0/106,1	10,2/77,3
Обводненность, %	99,2	34,2	29,0	40,0	74,5	88,0	89,0
Средний дебит всех скважин, работающих на данный пласт, т/сут	1,0/3,1	4,1/5,9	31,9/45,2	4,8/13,6	27,2/107,7	13,4/101,4	9,7/70,0
Обводненность, %	80,4	31,0	29,4	65,0	74,7	86,1	84,8
Средний суммарный дебит нефти скважин, в которых встречается данный пласт, т/сут	2	5,2	13,4	7,5	18,5	22	16
Разница между ср. суммарным дебитом нефти скважин с данным пластом и ср. дебитом нефти скважин, экспл. один пласт, т/сут	+1,93	+0,5	-19,9	+1,1	-14,6	+8,0	+6,0

Табл. 3. Дебиты нефти и жидкости по пластам.

коллекторскими характеристиками и свойствами флюидов;

- повысить производительность скважины за счет оптимизации работы объектов;
- повысить рентабельность отдельных скважин за счет подключения других объектов разработки или разных по продуктивности пластов одного объекта разработки.

Для реализации ОРЭ рекомендуется к использованию оборудование, использующееся в ОАО «Татнефть»: однорядная установка с насосом, имеющим дополнительный всасывающий клапан, обеспечивающая раздельную со своими режимами эксплуатацию объектов, но совместные подъем и транспорт продукции, разработанная в ТатНИПИнефть.

Данное оборудование для раздельной эксплуатации и технология его использования допускают осуществление всех тех технологических мероприятий, которые применяются при вскрытии пластов и их эксплуатации отдельными скважинами.

В связи с различной степенью продуктивности пластов и уровнем выработки их запасов в совместных добывающих скважинах учет объема отбираемой продукции целе-

сообразно вести из каждого пласта отдельно. Полученные данные позволят отслеживать эффективность работы совместной скважины по каждому горизонту и в дальнейшем послужат основанием для анализа выработки запасов по каждому пласту. Для контроля отбора продукции из совместных скважин рекомендуется использовать физико-химические методы, основанные на различиях химического состава нефти и воды совместно разрабатываемых пластов, в частности, с использованием значительного различия коэффициента светопоглощения нефти (КСП) и различия содержания ванадия и микроэлементов в нефти.

Для скважин, обводняющихся закачиваемой водой, можно использовать закачку трассирующих жидкостей. При этом закачка меченых жидкостей должна проводиться только в один из пластов.

Перечисленные методы являются косвенными, поэтому их результаты рекомендуется уточнять по данным работы скважин с пакером, отсекающим один из пластов. Хвостовик с пакером можно спускать в скважины, обводненные ШГН, при проведении ремонтных работ.

В совместных нагнетательных скважинах необходимо вести учет закачиваемой в продуктивные пласты воды с помощью методов термометрии и расходомерии. Кроме того, необходимо провести анализы совместимости вод пластов, эксплуатирующихся совместным фондом скважин.

Выводы

1. Проведенный анализ разработки месторождения показывает необходимость постепенного перехода к разукрупнению объекта.
2. Для создания независимых систем разработки объектов рекомендуется внедрение технологии одновременно-раздельной эксплуатации.

Объекты	Пластовая температура, °С	Некоторые технологические результаты
Сходница (Украина)	18	Увеличение нефтеотдачи по некоторым скважинам в 5-8 раз, по участку – в 3 раза.
Гнединцы (Украина)	48	Прирост нефтеотдачи 6%. Увеличение добычи нефти в 2-4 раза, в т.ч. за счет газового воздействия - около 70%. Полная утилизация кислорода.
Кала (Азербайджан)	36	Годовой прирост добычи нефти – 24%. Снижение обводненности до 34%.
Sloss (США)	97	Дополнительная добыча нефти – 43% от остаточных запасов, в т.ч. свыше 30% в виде легких фракций добыто в газовой фазе. Полная утилизация кислорода.
Deli (США)	57	Дополнительная добыча нефти - 50% от остаточных запасов. Увеличение отборов нефти в 4 раза.
МРНУ (США)	110	Увеличение добычи нефти в 2-4 раза. Дополнительная добыча – 50% от общей. Дополнительная добыча легких фракций – 15% от дополнительной добычи нефти. Полная утилизация кислорода.

Табл. 1. Основные результаты испытаний термогазового метода увеличения нефтеотдачи.

извлекаемых запасов, что сопоставимо с суммарной добычей за всю историю России (Концепция..., 2006).

Следует обратить внимание и на то, что за последние 15 лет усилилась тенденция снижения не только среднего проектного коэффициента нефтеизвлечения (КИН), на величину которого влияет высокий уровень нефтеотдачи по месторождениям в основном с активными запасами, успешно разрабатываемым с применением заводнения в 1960 – 1970-х гг. Происходит также существенное снижение проектного КИН, значение которого определено за три последних пятилетних периода (Концепция..., 2006). К настоящему времени он снизился до 27 – 28% и является одним из наиболее низких показателей в мировой практике. Не прекращается выборочная интенсивная обработка активных запасов нефти. Дальнейшее ее продолжение приведет к тому, что их ресурс будет исчерпан уже к 2015 г., а кризис в нефтедобыче уже налицо.

Главная причина снижения нефтеотдачи – отсутствие действенной государственной системы управления рациональным использованием запасов нефти, способной, как показывает мировой и отечественный опыт, эффективно противостоять ухудшению структуры запасов за счет востребованности современных методов увеличения нефтеотдачи (МУН) – тепловых, газовых, химических, микробиологических, и быстрого наращивания масштабов их применения. Несмотря на то, что сырьевая база нефтедобычи уже много лет пополняется в основном трудноизвлекаемыми запасами, проекты их разработки не предусматривают применение современных МУН, способных обеспечить конечную нефтеотдачу, не уступающую, а нередко и превышающую достигаемую при разработке месторождений с активными запасами методом заводнения.

Уже в ближайшие годы российские нефтяные компании будут вынуждены существенно наращивать добычу нефти из месторождений с трудноизвлекаемыми запасами. Эффективная разработка таких месторождений возможна лишь с применением современных МУН. Вследствие сложившейся в нашей стране структуры запасов важные перспективы связываются с применением газовых методов, в частности, на месторождениях Западной Сибири. Вместе с тем, применение этих методов может существенно сдерживаться, во-первых, из-за дефицита и непрерывного роста ком-

мерческой стоимости углеводородных газов, а во-вторых, из-за отсутствия в нашей стране месторождений углекислого газа, который мог бы рентабельно использоваться для реализации газового воздействия.

В этой связи важные перспективы могут быть связаны с принципиально новым термогазовым методом увеличения нефтеотдачи легких нефтей, основанным на закачке воздуха и его трансформации в высокоэффективные смешивающиеся (частично или полностью) с нефтью вытесняющие агенты за счет внутрислоевых окислительных и термодинамических процессов (Боксерман, 1971). Данный метод, предложенный в 1971 г., основан на обобщении многочисленных лабораторных исследований и промышленной реализации внутрислоевых окислительных процессов.

Метод термогазового воздействия на месторождения легкой нефти имеет отечественный приоритет и создан на стыке тепловых и газовых методов увеличения нефтеотдачи и интенсификации нефтедобычи (Боксерман, 1971). Этот метод разработан на принципиально новых физических основах, отличных от реализуемых в известных методах.

Новый метод основан на закачке в пласт широко доступных, а, следовательно, и дешевых рабочих агентов – воздуха и воды, и впервые в мировой практике использует важную энергетическую особенность значительной части месторождений (особенно Западной Сибири), которые характеризуются не только высоким пластовым давлением, но и повышенными пластовыми температурами, свыше 65°С и более. Такие температуры при закачке воздуха в результате высокой скорости процесса расходования кислорода воздуха на окисление нефти гарантируют безопасное ведение процесса и обеспечивают внутрислоевую генерацию высокоэффективного вытесняющего газового агента, обеспечивающего кардинальный прирост нефтеотдачи. Этот прирост КИН в данном методе обеспечивается не только за счет увеличения коэффициентов охвата пласта дренированием, но и за счет увеличения коэффициентов вытеснения, т.к. в процессе окисления нефти кислородом воздуха протекают процессы, обуславливающие формирование зоны смешивающегося вытеснения. Кроме того, происходящие при утилизации кислорода воздуха процессы, на основе локальных повышений фильтрационных сопротивлений,

Проекты применения термогазового МУН в США (2004 г.)

Страна	Месторождение	Дата начала проекта	Площадь, га	Кол. добывающих/нагнетательных скважин	Тип коллектора	Пористость, %	Проницаемость, мД	Глубина, м	Вязкость нефти, сП	Температура, °С	Система разработок до применения МУН	Начальная конечная нефтевысвещенность, %	КИН, %	Степень завершенности проекта	Добыча нефти за счет МУН, тыс. тонн/сут.	Добыча нефти за счет МУН, тыс. тонн/год	Рентабельность
США	Medicine Pole Hills	1985	3626	17/7	Д	17	15	2900	2	110	EP	52/30	42	НЗ	78/78	29/29	Усп
США	West Medicine Pole Unit	2001	5801	17/5	Д	17	10	2900	2	102	EP	50/33	34	ТН	101/101	37/37	н/д
США	North Cedar Hills Unit	2002	20720	н/д	Д	н/д	н/д	2740	н/д	н/д	EP	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д
США	Buffalo	1979	3108	23/12	Д	20	10	2580	2	102	EP	55/20	64	БЗ	55/55	20/20	Усп
США	West Buffalo	1987	1878	16/6	Д	20	10	2580	2	102	EP	55/20	64	НЗ	34/34	13/13	Усп
США	South Buffalo	1983	8417	43/19	Д	20	10	2580	2	102	EP	55/20	64	НЗ	137/137	50/50	Усп
Итого в год															148/148		

Проекты применения термогазового МУН в США (2006 г.)

Страна	Месторождение	Дата начала проекта	Площадь, га	Кол. добывающих/нагнетательных скважин	Тип коллектора	Пористость, %	Проницаемость, мД	Глубина, м	Вязкость нефти, сП	Температура, °С	Система разработок до применения МУН	Начальная конечная нефтевысвещенность, %	КИН, %	Степень завершенности проекта	Добыча нефти за счет МУН, тыс. тонн/сут.	Добыча нефти за счет МУН, тыс. тонн/год	Рентабельность
США	Medicine Pole Hills	1985	3626	17/7	Д	17	15	2900	2	110	EP	52/30	42	НЗ	62/62	23/23	Усп
США	West Medicine Pole Unit	2001	5801	17/5	Д	17	10	2900	2	102	EP	50/33	34	ТН	78/78	29/29	н/д
США	North Cedar Hills Unit	2002	20720	78/65	Д	18	10	2740	2	102	EP	55/26	53	ТН	119/111	405/405	Об
США	Buffalo	1979	3108	23/12	Д	20	10	2580	2	102	EP	55/20	64	БЗ	49/49	18/18	Усп
США	West Buffalo	1987	1878	16/6	Д	20	10	2580	2	102	EP	55/20	64	НЗ	55/55	20/20	Усп
США	South Buffalo	1983	8417	43/19	Д	20	10	2580	2	102	EP	55/20	64	НЗ	144/144	53/53	Усп
США	West Cedar Hills Unit	2003	3157	11/6	Д	17	10	2740	2	102	EP	55/26	53	ТН	110/110	40/40	Об
США	South Medicine Pole Unit	2003	4654	9/4	Д	17	10	2800	2	106	EP	50/30	40	ТН	116/116	6/6	н/д
США	Pennel Phase 1	2002	1183	22/8	Д	17	10	2680	1,44	93	3	75/39	48	ТН	59/22	21/8	Усп
США	Pennel Phase 2	2002	4051	56/24	Д	17	10	2680	1,44	93	3	85/46	46	ТН	212/14	78/5	Об

Табл. 2. Проекты применения термогазового МУН в США.

обуславливают самопроизвольное выравнивание фронта вытеснения, чем не обладают все другие известные методы водогазового воздействия. Отсюда и дополнительное повышение технологической, а, следовательно, и экономической эффективности данного метода.

Метод может применяться на месторождениях: с низкопроницаемыми коллекторами; с высокопроницаемыми монолитными пластами, в т.ч. после заводнения для извлечения остаточной нефти в кровельных частях; со значительным углом наклона пластов; массивного типа; с материнскими породами.

Метод прошел успешные испытания на ряде месторождений бывшего СССР и США, в т.ч. в рамках международного проекта «Интернефтеотдача» СССР (РМНТК «Нефтеотдача») – США (НК «Амоко»). Руководителем проекта с нашей стороны был автор настоящей статьи – автор метода. Некоторые результаты промысловых испытаний содержатся в табл. 1 (Концепция..., 2006).

Накопленный материал многолетних лабораторных и промысловых исследований свидетельствует, что новый метод позволяет увеличить нефтеотдачу кратно больше, чем применяемые в настоящее время методы. В частности, на высокопродуктивном месторождении Гнединцы (Украина) после достижения нефтеотдачи 60%, она за счет применения термогазового метода была доведена до 68%. При этом стоимость рабочего агента в 4 – 5 раз меньше, чем в традиционных методах увеличения нефтеотдачи.

Согласно материалам промысловых испытаний в нашей стране и США, при применении метода дополнительное извлечение нефти составило не менее 15 – 20% от остаточных (после заводнения) запасов (Табл. 1).

В ходе опытно-промышленных работ на месторождениях маловязких нефтей основные положения концепции и прогнозная эффективность метода нашли полное подтверждение.

В частности, на месторождениях с пластовой температурой свыше 50°C происходило практически полное самопроизвольное потребление кислорода воздуха в ближайшей окрестности нагнетательных скважин.

Подтверждена значительная роль и высокая вытесняющая способность формируемого в пласте газового агента – смеси азота с углекислым газом и легкими фракциями нефти. В процессе опытно-промышленных работ происходило значительное, вплоть до кратного, увеличение добычи нефти, которое сохранялось в течение длительного времени, измеряемого годами. Многие скважины переходили на фонтанный режим работы. Дополнительное извлечение нефти достигало 30 – 40% и более от остаточных, после заводнения, запасов. Даже на высокопродуктивном и весьма благоприятном для технологий заводнения месторождении Гнединцы (на Украине) после завершения процесса заводнения с весьма высокой нефтеотдачей (порядка 60%) прирост нефтеотдачи от закачки в пласты воздуха на участке применения превысил 6%. При этом не замерялись и, соответственно, не учитывались весьма значительные количества легких фракций нефти, выносимых вместе с добываемым газом.

На этом месторождении впервые была четко установлена значимость роли формируемого в пласте, в результате закачки воздуха, рабочего агента. Было установлено, что этим агентом обеспечивается не менее 80% от суммарного объема дополнительной добычи нефти. Именно

это обстоятельство предопределило дальнейшее направление развития работ и привело к созданию предлагаемого метода интенсификации нефтедобычи и повышения КИН на месторождениях легкой нефти с повышенными пластовыми температурами.

Очевидно, что освоение и распространение такого метода имеет принципиальное значение для увеличения сырьевой базы нефтедобычи и кардинального повышения эффективности разработки нефтяных месторождений страны, особенно в Западной Сибири, где новый метод может быть применен на месторождениях с низкопроницаемыми коллекторами с суммарными запасами нефти в размере 8 млрд. тонн, а потенциал ежегодного прироста извлекаемых запасов нефти составит 5 – 6 млрд. тонн.

В настоящее время метод в России нигде не применяется. Его освоение продолжается в США. Интерес к нему проявляют Норвегия, Великобритания и Индонезия.

В США применение этого метода быстро расширяется (Табл. 2) (Обзор применения..., 2006). Если в 2003 г. термогазовый метод применялся на 6-ти объектах, то в 2005 г. – уже на 11 объектах. При этом в 2003 г. с применением метода добыто около 150 тыс. т. нефти, а в 2005 г. – около 645 тыс. т., т.е. в 4,3 раза больше.

В настоящее время в ОАО «Сургутнефтегаз» термогазовый метод в качестве базового воздействия предполагается испытать на Ай-Пимском и Маслиховском месторождениях баженовской свиты (Сонич, 1999; Батурич, 2002).

ОАО «РИТЭК» также начало работы по подготовке промысловых испытаний нового способа разработки на основе термогазового воздействия на Галиновском и Средне-Назымском месторождениях баженовской свиты.

К настоящему времени высокий потенциал извлекаемых запасов нефти баженовской свиты, превышающий 30 – 50 млрд. т. легкой нефти не используется, вследствие отсутствия эффективного способа разработки. Отдельные участки баженовской свиты разрабатываются на естественном режиме. В течение прошедших 40 лет суммарная добыча нефти составляет примерно 7 – 8 млн. т., а нефтеотдача не превышает 3%.

Накопленный промысловый опыт, лабораторные и тероретические исследования свидетельствуют о необходимости сочетания теплового воздействия и специальных методов воздействия для увеличения пустотного пространства породы. Именно такое интегрированное воздействие может обеспечить термогазовый метод увеличения нефтеотдачи.

Литература

Боксерман А.А. Результаты и перспективы применения тепловых методов воздействия на пласт. *Тепловые методы воздействия на пласт*. ВНИИОЭНГ. Москва. 1971. 10-16.

Обзор применения МУН в мире. *Oil & Gas Journal*. 2004, 2006.

Сонич В.П., Батурич Ю.Е., Малышев А.Г., Шеметилло В.Г. Проект опытно-промышленных работ по извлечению углеводородов из баженовских отложений и нефти из заводненного пласта АС₁₁ Маслиховского месторождения. *Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Ханты-Мансийск*. 1999. 316-324.

Батурич Ю.Е., Сонич В.П., Малышев А.Г., Зарипов О.Г., Шеметилло В.Г. Оценка перспектив применения гидротермовоздействия в пласте Ю₀ месторождений ОАО «Сургутнефтегаз». *Интервал*. №1 (36). 2002.

Концепция программы преодоления падения нефтеотдачи. Комитет Государственной Думы РФ по природным ресурсам и природопользованию совместно с ОАО «Газпромнефть». ОАО «Зарубежнефть» и ОАО «РИТЭК». М.: 2006.