

# Разработка инновационных термохимических элементов для очистки насосно-компрессорных труб и призабойной зоны пласта

Ю.А. Беляев  
к.т.н., ст. н.с.<sup>1</sup>  
yb@ets-tsa.ru

В.С. Бороздин  
генеральный директор<sup>1</sup>  
bvs@ets-tsa.ru

<sup>1</sup>НТЦ ЗАО «АФТ-ЭНЕРГО», МЭИ, Москва, Россия

**Сложившаяся тенденция качественного ухудшения сырьевой базы в нефтяной отрасли заставляет нефтяников уделять большое внимание разработке новых нетрадиционных методов очистки скважин от АСПО и газогидратов. Авторами на стыке наук химии и физики разработаны инновационные высокоэффективные термохимические элементы, обладающие большой тепловой мощностью и химическим потенциалом, что позволяет очищать скважины (в том числе «глухие») и призабойную зону пласта от АСПО и газогидратов.**

## Материалы и методы

В качестве материалов-реагентов взяты элементы 1-2-3 групп таблицы Менделеева. Методы изготовления термохимических элементов — прессование с последующим изолированием фольгой. Методы исследования — лабораторные и промышленные испытания.

## Ключевые слова

нефть, НКТ, призабойная зона пласта, термохимические элементы, нефтяной пласт, МУН, асфальтены, смолы, парафины

В нефтяной промышленности происходит естественное качественное ухудшение состояния сырьевой базы вследствие выработки наиболее доступных и хорошо подготовленных месторождений с развитой инфраструктурой. Кроме того, в масштабах всей отрасли продолжается снижение коэффициента извлечения нефти (КИН) — основного показателя рационального использования сырьевой базы [1, 2].

Применяемые в настоящее время традиционные методы извлечения нефти и повышения производительности скважин в таких условиях зачастую оказываются малоэффективными, что стимулирует проведение исследований в направлении разработки эффективных методов эксплуатации скважин с малопроницаемыми нефтяными пластами. Такие методы должны отличаться невысокой стоимостью и быть несложными в применении в полевых условиях [3]. Проведению исследовательских и внедренческих работ по разработке тепловых и термохимических методов увеличения нефтеотдачи в последнее время уделяется большое внимание [4].

В нефтяной отрасли РФ сложилась ситуация, когда техника и технология добычи нефти совершенствуются, а нефтеотдача (КИН) снижается. Основными причинами, создавшими такую ситуацию, являются:

- неадекватный реальному геологическому строению подбор технологий увеличения нефтеотдачи

пластов, тенденция к применению неких универсальных технологий без учёта специфики месторождений;

- резкое сокращение, ограничение вариативности применения МУН и поиска новых эффективных технологий увеличения КИН и др. [5].

Работы по созданию инновационных реагентов и технологий могут базироваться только на фундаментальных научных исследованиях и промышленных испытаниях.

В настоящее время крупные российские нефтяные компании (Роснефть, Лукойл и др.) создают свои научные подразделения для разработки инновационных технологий, при этом их исследования направлены в основном на совершенствование ранее разработанных методов.

## Разработка термохимических элементов типа «ХИМОТЕРМ» для очистки НКТ

Для целенаправленного проведения исследований в области получения новых реагентов и эффективных технологий их применения следует разобраться, что представляет собой нефть, понять механизмы, происходящие в нефтяном пласте, и физико-химические основы процессов отложения соединений в скважине и в скелете пласта.

Как известно, нефть является многофазной системой, состоящей из отдельных классов соединений: парафины, нафтены, ароматические, смолы и асфальтены.

Наименование	Обозначение	Марка
Соединения 1, 2 и 3 групп табл. Менделеева	Гостированные соединения	
Фольга алюминиевая	ГОСТ 618	А 5
Стружка алюминиевая	Не нормируется	Не нормируется
Полиэтилен высокого давления	ГОСТ 16337	15803–020
Битум нефтяной	ГОСТ 9548	БНК – 49/180
Спирт этиловый	ГОСТ 18300-87	Ректификат
Керосин	ТУ 38101-58-1080	ТУ 38101-58-1090
Бараны стальные или пластмассовые с крышкой	Не гостируются	–
Цинк металлический (фольга)	ГОСТ 18846-73	Не нормируется

Таб. 1 — Сырьё для изготовления ТХЭ «ХИМОТЕРМ»



Рис. 1 — Вид ТХЭ «ХИМОТЕРМ» для очистки НКТ

## ТЕРМОХИМИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ

ХИМОТЕРМ



АСФАЛЬТЕНЫ  
 СМОЛЫ  
 ПАРАФИНЫ  
 ОТЛОЖЕНИЯ

### БОЛЬШАЯ ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ + ХИМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

- ЭФФЕКТИВНАЯ ОЧИСТКА СКВАЖИН, В ТОМ ЧИСЛЕ ГЛУХИХ
- УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ МРП СКВАЖИНЫ
- ПОВЫШЕНИЕ ДЕБЕТА СКВАЖИНЫ

- УСТРАНЕНИЕ И СМЫВ АСПО И ЦЕНТРОВ ИХ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В НКТ И ПЗП

Наиболее сложными и трудноудаляемыми являются асфальтены. Они представляют собой гетероатомные поликонденсированные ароматические соединения с молекулярной массой от 1500 до 20000. В нефти асфальтены находятся в коллоидном состоянии. Поскольку они в своём составе имеют молекулы соединений тяжёлых металлов, то отличаются значительной поверхностной поляризацией, что приводит за счёт воздействия молекулярных и Ван-дер-Ваальсовых сил к плотным отложениям их на поверхности нефтяного оборудования и скелета пласта.

Смолы в свою очередь также являются высокомолекулярными ароматическими соединениями с молекулярной массой от 500 до 1500. Как и асфальтены, в своём составе кроме углерода и водорода они содержат кислород, серу, азот и молекулы соединений тяжёлых металлов. Они также являются поверхностно активными поляризованными соединениями и легко отлагаются на поверхности асфальтенов, притягивая в свою очередь парафины  $C_{18}$  и выше. Особенно интенсивно парафины отлагаются

выше точки термодинамического равновесия или точки насыщения, после которой происходит интенсивное испарение углеводородов  $C_1-C_4$ . Испаряясь, они охлаждают нефть и уменьшают растворимость тяжёлых парафинов, которые в результате застывания образуют прочные кристаллизационные структуры и могут забивать скважину до буферной линии [6].

При очистке НКТ в процессе межремонтной обработки (МРП) применяют различные тепловые и механические методы. Для снижения степени адгезии АСПО применяют трубы с внутренним покрытием из стекла, эмали или эпоксидных смол, а также химические добавки, предотвращающие прилипание парафина к стенкам труб.

Однако эти разработанные ранее технологии зачастую малоэффективны, поскольку не в состоянии смывать центры кристаллообразования асфальтенов, которые являются основоположниками отложения АСПО.

Для решения указанных задач очистки НКТ авторами разработаны твёрдые термохимические элементы (далее — ТХЭ) «ХИМОТЕРМ», обладающие большой

тепловой мощностью и активным химическим воздействием на поверхность нефтяного оборудования и скелет пласта. Основными составляющими реагентов являются химические соединения 1, 2 и 3 групп таблицы Д.И. Менделеева. Отдельные композиции реагентов в процессе работы помимо теплового и химического воздействия образуют сильный антигидратный ингибитор, что способствует применению их в технологии очистки газовых и газоконденсатных скважин от газогидратов. Образующиеся в процессе работы соединения алюминия и цинка, взаимодействуя с оксидом железа на поверхности НКТ, плакируют поверхность труб оксидной плёнкой. При этом уменьшается коррозия, скорость отложения АСПО, гидравлическое сопротивление, повышается дебит скважин, при этом даже после однократной обработки МРП увеличивается примерно в два раза. Это подтверждено лабораторными и многочисленными промышленными работами [6].

Сырьё и материалы, необходимые для изготовления реагентов типа «ХИМОТЕРМ», представлены в таб. 1.

Наименование параметров	Норма
Диаметр, мм	30–70
Длина, мм	100–900
Масса, кг	0,3–2,0
Тепловая мощность, кДж/кг	25000

Таб. 2 — Физико-химическая характеристика ТХЭ «ХИМОТЕРМ»



Рис. 2 — ТХЭ «ХИМОТЕРМ» для обработки скважин, продуцирующих тяжелые асфальтеносмолистые парафинистые нефти



Рис. 3 — Элементы «ХИМОТЕРМ» для очистки «глухих» скважин

При изготовлении элементов типа «ХИМОТЕРМ» применяется стандартное оборудование. Элементы могут быть изготовлены методом прессования или экструзии с последующим изолированием полученных заготовок алюминиевой или цинковой фольгой. В зависимости от характера их применения (очистка НКТ или ПЗП) на них может наноситься специальная перфорация. Термохимические элементы «ХИМОТЕРМ» запатентованы [7]. Характеристики термохимических элементов представлены в таб. 2.

Способы термохимического воздействия являются наиболее приемлемыми для очистки НКТ и ПЗП, поскольку в данном случае тепло в сочетании с горячим химическим реагентом поступает в нужную точку и смывает не только парафины, смолы и асфальтены, но и центры их кристаллизации. Вид ТХЭ «ХИМОТЕРМ» для очистки НКТ представлен на рис. 1.

Для очистки скважин, продуцирующих тяжёлые асфальтеносмолистые парафинистые нефти, разработаны элементы, представленные на рис. 2.

Особенностью реагентов является закруглённая головка и наличие отверстий в хвостовой части, которые выполняют роль реактивных форсунок, продвигающих продукты реакции вниз по НКТ.

На рис. 3В представлены модификация ТХЭ «ХИМОТЕРМ» для очистки «глухих»

скважин. Основной активный состав ТХЭ помещён в тонкостенную трубку, на поверхности которой нанесены перфорационные отверстия специальной формы, внутри проходит алюминиевая трубка с резьбой для соединения элементов в одну цепь. Это придаёт стабильность в движении ТХЭ и нужную тепловую мощность при очистке глухих скважин. В торцевой части аппарата выполнены отверстия в виде сопел для придания реагентам реактивной тяги за счёт выделяющейся в процессе реакции парогазовой смеси. На рис. 3А представлен аппарат — т. н. «термогазодинамическая торпеда» для очистки «глухих» скважин, продуцирующих тяжёлую нефть. Аппарат состоит из 3-х частей, которые соединяются между собой на резьбе. Аппарат загружают реагентами и через лубрикатор опускают в НКТ на специальном изолированном тросике. В секциях имеются специальные форсунки, которые за счёт выделяющейся в процессе реакции горячей парогазовой смеси развивают реактивную тягу. Аппарат многократного действия, одной загрузки хватает примерно на 1 час работы, что соответствует 100–150 м проходки в НКТ.

#### Разработка термохимических элементов «ХИМОТЕРМ» для очистки ПЗП

В процессе эксплуатации кольматирование призабойной зоны пласта

происходит в результате привноса частиц пластовым флюидом, а в процессе бурения — за счёт проникновения в пласт фильтра промывочной жидкости. Кроме того, в результате падения пластового давления происходит забивание фильтрационных каналов выделяющимися АСПО.

Как указывалось ранее, асфальтены и смолы осаждаются на поверхности пор пласта при воздействия молекулярных и сил Ван-дер-Ваальса. Поскольку процесс протекает на молекулярном уровне, для их отрыва необходимо приложить энергию, равноценную примерно энергии активации химической связи. Поэтому стандартными технологиями это сделать невозможно. В этом случае помимо тепла необходимо химическое воздействие.

Традиционно используемым универсальным методом является тепловое прогревание ПЗП. Известно, что вязкость нефти с ростом температуры уменьшается. Из-за увеличения энергии колебательного движения частиц, составляющих структурную сетку, отдельные связи нарушаются. В результате нагрева устанавливается динамическое равновесие между числом распадающихся и вновь возникающих связей, то есть между процессом разрушения структурной сетки и её восстановлением — релаксацией. Поры пласта, закольматированные АСПО, полностью очистить только прогреванием практически невозможно, поскольку невозможно смыть центры кристаллизации асфальтенов.

Для решения поставленных задач авторами разработаны и изготовлены ТХЭ в виде изолированных цилиндров или в виде изолированных полуцилиндров с внутренним полукруглым отверстием (рис. 4 и 5). При сложении 2-х таких полуцилиндров образуется полный цилиндр. Внутреннее отверстие необходимо для прохождения технологической жидкости. Применение различных видов ТХЭ определяется потребностью варьировать скорость процесса в зависимости от специфики задачи.

Физико-химические характеристики реагентов зависят от вида выполняемых работ. Внешний вид ТХЭ показан на рис. 4 и 5.

Применение таких ТХЭ осуществляют в специально разработанном контейнере многократного использования [8].

Образующееся в процессе реакции тепло прогревает ПЗП, а зажатые в пласт горячие жидкие продукты разрушают имеющуюся в пласте структурную сетку, смывают с пор пласта АСПО и центры их кристаллизации. Кроме того, при взаимодействии горячих продуктов реакции с отложениями в порах пласта водонерастворимые соединения переходят в водорастворимые, при этом увеличивается пористость ПЗП и восстанавливается нормальная работа скважины [9].

Разработанные композиции ТХЭ «ХИМОТЕРМ» не дефицитны, составляющие их выпускаются отечественными заводами. Они не опасны для здоровья, не ухудшают качества нефти, не загрязняют отложениями скважину и окружающую среду. Термохимические элементы «ХИМОТЕРМ» герметичны, малогабаритны и легко транспортируются любым видом транспорта.



Рис. 4. — Вид половинки ТХЭ «ХИМОТЕРМ» для обработки ПЗП



Рис. 5 — Вид цельных ТХЭ в наборе

**Итоги**

Созданы инновационные термохимические элементы типа «ХИМОТЕРМ», позволяющие быстро и эффективно очищать скважины (в том числе «глухие») и призабойную зону пласта от АСПО и газогидратов.

**Выводы**

Грамотное применение термохимических элементов повысит не только производительность скважин и коэффициент отдачи пласта, но и производственные стандарты.



**НТЦ ЗАО «АФТ-ЭНЕРГО»**  
РФ. Москва, 111250, МЭИ,  
ул. Красноказарменная, д. 14  
+7 (495) 362-73-73

**Список используемой литературы**

1. Кудинов В.И. Основы нефтепромышленного дела. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. 720 с.
2. Вакатов С.Н., Сапожников А.Е., Оленчиков Д.М. Повышение эффективности разработки месторождений системой горизонтальных скважин и боковых горизонтальных стволов на Мишкинском месторождении Удмуртской Республики // Научно-технический вестник Роснефть. 2008. № 4. С. 24–27.
3. Шмаль Г. Нефтяная отрасль — не скатерть-самобранка // Нефть России. 2009. №5. С. 20–23.
4. Горшенев В.С. ОАО «Зарубежнефть» расширяет своё присутствие в России и за рубежом // Нефтяное хозяйство. 2009. № 5. С. 10–12.
5. Муслимов Р.Х. Проблемы модернизации и развития инновационных технологий разработки нефтяных месторождений в связи с существенными изменениями ресурсной базы // Нефтяное хозяйство. 2011. № 5. С. 72–76.
6. Беляев Ю.А. Очистка насосно-компрессорных труб добывающих скважин методом термохимического воздействия // Экспозиция Нефть Газ. 2011. № 4. С. 53–54.
7. Беляев Ю.А., Меньяев В.А., Голованова Н.К., Беляева Н.Ю. Устройство для термохимической обработки скважин. Патент Российской Федерации № 2473783 от 9.11.2011 г.
8. Просвирин А.А., Беляев Ю.А. Интенсификационная технология обработки призабойной зоны скважины // Нефтяное хозяйство. 2004. № 4. С. 45–47.
9. Беляев Ю.А. Разработка инновационных технологий добычи трудноизвлекаемых нефтей. М.: Элит, 2014. 128 с.

ENGLISH

OIL PRODUCTION

## Development of innovative thermo-chemical elements for cleaning tubing and bottom-hole formation zone

UDC 622.276

**Authors:**

**Yuri A. Belyaev** — Ph.D., senior researcher<sup>1</sup>; [yb@ets-tsa.ru](mailto:yb@ets-tsa.ru)

**Victor S. Borozdin** — general director<sup>1</sup>; [bvs@ets-tsa.ru](mailto:bvs@ets-tsa.ru)

<sup>1</sup>STC CJSC “AFT-Energo”, MPEI, Moscow, Russian Federation

**Abstract**

The current trend of quality deterioration of the resource base in the oil industry is forcing oil companies to pay great attention to the development of new non-traditional methods of cleaning wells of asphaltene-resin-paraffin deposits (ARPD) and gas hydrates. Authors at the junction of sciences of chemistry and physics developed innovative high-performance thermo-chemical elements which have a large heat capacity and chemical potential, which allows you to clean wells (including shut-in well) and bottom-hole formation zone of

ARPD and gas hydrates.

**Materials and methods**

As materials reagents were taken elements of the 1-2-3 group of the periodic table. Methods for the manufacture of thermo-chemical elements are pressing followed by isolation of the foil. Research methods are laboratory and field tests.

**Results**

Created innovative thermochemical elements such as “CHEMITHERM” which allow quickly and effectively clean the wells

(including the shut-in well) and bottomhole formation zone of ARPD and gas hydrates.

**Conclusions**

Competent application of thermo-chemical elements will enhance not only the productivity of the wells and the ratio of reservoir performance, but also production standards.

**Keywords**

oil, tubing, bottom-hole formation zone, thermochemical elements, oil pool, MEOR, asphaltene, resins, paraffins

**References**

1. Kudinov V.I. *Osnovy neftepromyslovogo dela* [Fundamentals of petroleum engineering]. Moscow-Izhevsk: Institute of Computer Sciences, 2004, 720 p.
2. Vakatov S.N., Sapozhnikov A.E., Olenchikov D.M. *Povyshenie effektivnosti razrabotki mestorozhdeniy sistemoy gorizontallykh nykh skvazhin i bokovykh gorizontallykh stvolov na Mishkinskom mestorozhdenii Udmurtskoy Respubliki* [Improving the efficiency of field development system horizontal wells and horizontal wells in Udmurt Republic's Mishkinskoye field]. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Rosneft*, 2008, issue 4, pp. 24–27.
3. Shmal' G. *Neftyanaya otrasl' — ne skatert'-samobranka* [The oil industry is not a magic tablecloth]. *Neft' Rossii*, 2009, issue 5, pp. 20–23.
4. Gorshenev V.S. *OAO «Zarubezhneft'» rasshiryaet svoe prisutstvie v Rossii i Zarubezhom* [JSC “Zarubezhneft” is expanding its presence in Russia and abroad]. *Oil industry*, 2009, issue 5, pp. 10–12.
5. Muslimov R.Kh. *Problemy modernizatsii i razvitiya innovatsionnykh tekhnologiy razrabotki neftyanykh mestorozhdeniy v svyazi s sushchestvennyimi izmeneniyami resursnoy bazy* [Problems of modernization and development of innovative technologies for the development of oil fields due to significant changes of the resource base]. *Oil Industry*, 2011, issue 5, pp. 72–76.
6. Belyaev Yu.A. *Ochistka nasosnokompresornykh trub dobyvayushchikh skvazhin metodom termokhimicheskogo vozdeystviya* [Cleaning tubing wells by thermochemical effects]. *Exposition Oil Gas*, 2011, issue 4, pp. 53–54.
7. Belyaev Yu.A., Menyayev V.A., Golovanov N.K., Belyaeva N.Yu. *Device for the thermochemical treatment of wells. The patent of Russian Federation № 2473783 from 9.11.2011.*
8. Prosvirin A.A., Belyaev Yu.A. *Intensifikatsionnaya tekhnologiya obrabotki prizaboynoy zony skvazhiny* [Intensification technology of bottomhole zone processing]. *Oil industry*, 2004, issue 4, pp. 45–47.
9. Belyaev Yu.A. *Razrabotka innovatsionnykh tekhnologiy dobychi trudnoizvlekaemykh neftey* [Development of innovative technologies for the extraction of unconventional oil]. Moscow: *Elit*, 2014, 128 p.