

УДК 665.613.24

**СОВРЕМЕННОЕ И ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ
ТЯЖЕЛЫХ ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ, СЛИЧИТЕЛЬНЫЕ АНАЛИЗЫ
ЭКСПЕРИМЕНТОВ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ТЯЖЕЛОЙ НЕФТИ**



**CURRENT AND POTENTIAL STATUS OF HEAVY HIGH-VISCOUS OILS,
COMPARATIVE ANALYSIS OF EXPERIMENTS AND A MATHEMATICAL MODEL
FOR THE PROCESSING OF HEAVY OIL**

Аскеров Айсам Ровшан оглы
магистрант,
Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности
aysam_asgarov@mail.ru

Юсубов Фахраддин Вали оглы
профессор,
Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности
yusfax@mail.ru

Аннотация. Истощение легких традиционных нефтяных ресурсов значительно увеличило потребность в новых и более оптимальных технологических процессах для переработки тяжелой сырой нефти. Создание новых технологических процессов, внедрение этих видов сырья с существующими технологиями обработки, а также создание математических моделей, основанных на систематическом анализе процесса обработки. Для оптимизации процесса переработки путем глубокой переработки тяжелой сырой нефти была создана регрессионная модель этих типов процессов.

Ключевые слова: тяжелая нефть, синтетический нефть, природный битум, рафинирование, наноразмерные катализаторы, регрессионная модель.

Askerov Aysam Rovshan oglu
Graduate student,
Azerbaijani state oil and industry university

Yusubov Fakhraddin Wali oglu
Professor,
Azerbaijani state oil and industry university

Annotation. The depletion of light traditional oil resources has significantly increased the need for new and more optimal technological processes for the processing of heavy crude oil. Creation of new technological processes, the introduction of these types of raw materials with existing processing technologies, as well as the creation of mathematical models based on a systematic analysis of the processing process. To optimize the refining process by deep processing of heavy crude oil, a regression model of these types of processes was created.

Keywords: heavy oil, synthetic oil, natural bitumen, refining, nanoscale catalysts, regression model.

Введение

Нефтехимия является незаменимым продуктом бурения, используемым во многих отраслях промышленности, в том числе в химической, и защита запасов легкой нефти в настоящее время является ключевой задачей в нефтяной промышленности. По подсчетам ученых, запасы легкой нефти сталкиваются с риском истощения в первой половине этого столетия. Конечно, технология добычи, транспортировки и переработки нефти во много раз проще и доступнее, чем другие продукты бурения, а также благодаря высоким показателям качества прозрачных продуктов перегонки, полученных из нефти.

Ежегодно во всем мире миллионы установленных двигателей внутреннего сгорания в автомобилях, железнодорожных и авиационных транспорт, речные и морские суда, строительство, сельское хозяйство, военная техника и т.д. расходуют примерно 1,5 миллиарда т. моторного топлива. Логическим следствием этого является то, что во втором десятилетии 21-го века традиционная добыча нефти достигла своего пика. Конечно, текущая ситуация и статистические расчеты не могут не привлечь внимание таких крупных нефтяных компаний как: «Sinorep», «Lukoil», «BP», «Saudi Aramco», «VALERO», «Газпром», «Kuwait Petroleum Corp» и другие, так как они тратят огромные суммы денег и энергии на поиск альтернативных источников энергии. Настоящая проблема появилась большой интерес к конку-рентоспособным нетрадиционным источникам

нефти, таким как: высоко-вязкостная нефть, очень тяжелая нефть и природный битум. С 2018 года 10 % перерабатываемой сырой нефти в мире приходится на эти виды нефти. Плотность тяжелой и очень тяжелой нефти варьируется от 0,860 до 1022 г / см³, отражая модифицированную форму основного типа битума и керна сырой нефти с 30 МПа или 35 мм² / ч.

На этом фоне можно сказать, что реконструкция топливно-энергетического комплекса в мире завершена. Целью этого этапа является не только поиск новых источников сырой нефти и увеличение темпов переработки нефти, но и выявление новых, улучшенных методов на всех этапах производства (производство, переработка, продажа) [1].

Зарубежные компании определяют для термических и экстракционных процессов роль первичной обработки ТН с целью получения синтетической нефти, которая имела бы более низкую вязкость и могла бы транспортироваться по трубопроводам. Одним из перспективных направлений такой подготовки ТН к транспортировке являются разновидности процесса деасфальтизации. Канадская технология «НТЛ» (Heavy To Light) основана на удалении смолисто-асфальтовых веществ (САВ) на циркулирующем горячем минеральном носителе, на поверхности которого протекают реакции термоллиза. Продукты реакции отделяются от песка в циклоне и разделяются ректификацией. Оставшийся гудрон возвращается на смешение с песком. В качестве недостатков процесса можно выделить высокую металлоемкость, низкий выход жидких продуктов, повышенное образование кокса.

Технология «CCU» (Catalytic Crude Upgrading), разработанная компанией UOP (Universal Oil Products), представляет собой вариант неглубокого каталитического крекинга в псевдоожиженном слое. Процесс направлен на снижение вязкости тяжелого сырья для перекачки трубопроводным транспортом. Синтетическая нефть, получаемая на установке, имеет меньшую плотность (повышение API на 27 ед.). Процесс реализован в виде пилотной установки.

Разновидность гидрокаталитической переработки природных битумов, получившая название «DRB» (Donor Refined Bitumen), заключается в предварительной отгонке из сырья фракций, выкипающих до 500°C, и последующем смешении остатка с растворителем, выступающим в качестве источника водорода. Растворитель циркулирует в системе, перед смешением предварительно «регенерируется» гидрированием для обеспечения свойства водородного донора. Смесь остатка с растворителем подвергают гидрокрекингу при температуре 410 – 460°C и давлении 35 – 55 атм. Глубина превращения при данном режиме достигает порядка 70 %. Смешением продукта гидрокрекинга и предварительно отогнанных фракций получают СН, практически не содержащую тяжелого остатка.

Отличительной особенностью данной технологии является возможность переработки тяжелого нефтяного сырья без предъявления требований к коксуемости, содержанию серы и металлов. Это становится возможным ввиду организации процесса без прямого контакта катализатора с реакционной массой, что позволяет избежать отравления и закоксовывания катализатора, а также избежать затрат на регенерацию и снизить металлоемкость.

В качестве донора водорода могут быть использованы природный и попутный газы, ШФЛУ, прошедшие каталитическую активацию в блоке получения атомарного водорода и радикалов. Иными словами, в реакторе происходит смешение тяжелого сырья с каталитически активированным источником водорода без участия катализатора. В настоящее время технология обеспечивает высокий выход дистиллята с концом кипения 350 °C [2].

Экспериментальная часть

В настоящее время технологии переработки тяжелой нефти с высокой вязкостью в основном основаны на классических технологиях обработки тяжелых нефтяных остатков. В то же время, из-за специфических свойств и тяжелого состава тяжелого углеводородного сырья классическая технология вторичной переработки легкой нефти не считается эффективной для переработки тяжелой нефти. Ниже (табл. 1) приведен ряд показателей нефти, использованного для эксперимента.

Таблица 1

Проба тяжелой нефти, взятая с Сураханского нефтяного месторождения			Проба легкой нефти, взятой с Ширванского месторождения		
Плотность по ареометру, 20 °С		Плотность по пикнометру, 20 °С	Плотность по ареометру, 20 °С		Плотность по пикнометру, 20 °С
$\rho = 886,9 \text{ кг/м}^3$		$\rho = 884,0 \text{ кг/м}^3$	$\rho = 855,8 \text{ кг/м}^3$		$\rho = 856,0 \text{ кг/м}^3$
20 °С		$\gamma_{\text{кин}} - 1,9681 \text{ мм}^2/\text{с}$	20 °С		$\gamma_{\text{кин}} - 1,5478 \text{ мм}^2/\text{с}$
50 °С		$\gamma_{\text{кин}} - 3,8776 \text{ мм}^2/\text{с}$			
Количество серы (S) в %			Количество серы (S) в %		
0,2496	0,2490	0,2494	0,1701	0,1700	0,1699
0,2493			0,1700		
Количество азота (N) в миллионных долях			Количество азота (N) в миллионных долях		
1487		1435	425		364
Температура воспламенения в открытой тигле – 41 °С			Температура воспламенения в открытой тигле – 39 °С		
Температура воспламенения в закрытой тигле – 32 °С			Температура воспламенения в закрытой тигле – 29 °С		

Все это побуждает ученых всего мира синтезировать более эффективный и стабильный катализатор, получать более дешевый и более доступный источник водорода (донор), выбирать различные комбинации давления и температуры и модифицировать реакторы. Большая часть наших экспериментов проводилась в области переработки тяжелой нефти. Были изучены перспективы дальнейшей переработки этой нефти на заводе без существенных изменений существующих схем.

Для этой цели синтетическое нефть было извлечено из образца тяжелой нефти с помощью процесса Фишера Тропша, и это синтетическое нефть было обработано в условиях легкой переработки нефти и проанализировано и сравнено (табл. 2).

Таблица 2

Фракционный состав	Проба легкой нефти, взятый с Ширванского нефтяного месторождения		Проба тяжелой нефти, взятая с Сураханского нефтяного месторождения	
Температура начало кипение	56	59	72	75
10 % отгоняется при температуре °С	89	88	112	114
20 % отгоняется при температуре °С	114	115	186	187
30 % отгоняется при температуре °С	171	170	221	221
40 % отгоняется при температуре °С	242	240	278	279
50 % отгоняется при температуре °С	284	283	328	327
60 % отгоняется при температуре °С	318	317	335	335
70 % отгоняется при температуре °С	330	332	343	344
80 % отгоняется при температуре °С	344	346	354	355
86/88 % отгоняется при температуре °С	–	–	361	360
90/90 % отгоняется при температуре °С	351	353	–	–
Температура конца кипение	352	355	362	362

Эта статья также достигла удовлетворительных результатов в наших экспериментах на основе существующих технологий обработки и рассматривает разработку математической модели результатов наших экспериментов, чтобы сделать эти результаты более эффективными. 3 фактора, влияющих на процесс, были выбраны для построения математической модели (табл. 3):

Z1 – температура T, °С; Z2 – плотность, кг / м³; Z3 – вязкость, мПа·с

Таблица 3 – Матрица планирования практики

№	Технологические условия процесса			Характеристика конечного продукта				Выходные параметры
	T, °C	ρ, кг/м ³	Вязкость МПа·с	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	Y
1	112	884,0	1,9681	+1	-1	-1	-1	10
2	364	884,0	1,9681	+1	+1	-1	-1	20
3	112	886.9	1,9681	+1	-1	+1	-1	30
4	364	886.9	1,9681	+1	+1	+1	-1	40
5	112	884,0	3,8776	+1	-1	-1	+1	50
6	364	884,0	3,8776	+1	+1	-1	+1	60
7	112	886.9	3,8776	+1	-1	+1	+1	70
8	364	886.9	3,8776	+1	+1	+1	+1	86

$$Z_1 = \frac{364+112}{2} = 238; Z_2 = \frac{886,9+884,0}{2} = 885,45; Z_3 = \frac{3,8776+1,9681}{2} = 2,92285;$$

$$\Delta Z_1 = \frac{364-112}{2} = 126; \Delta Z_2 = \frac{904,0-902,0}{2} = 885,45; Z_3 = \frac{3,8776-1,9681}{2} = 0,95475.$$

Исследование показало, что результаты эксперимента были обычноделимыми и однородными.

$$b_0 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 y_i = \frac{1}{8} (10 + 20 + 30 + 40 + 50 + 60 + 70 + 86) = 45.75;$$

$$b_1 = \frac{1}{8} (-1 \times 10 + 1 \times 20 - 1 \times 30 + 1 \times 40 - 1 \times 50 + 1 \times 60 - 1 \times 70 + 1 \times 86) = 5.75;$$

$$b_2 = \frac{1}{8} (-1 \times 10 - 1 \times 20 + 1 \times 30 + 1 \times 40 - 1 \times 50 - 1 \times 60 + 1 \times 70 + 1 \times 86) = 10.75;$$

$$b_3 = \frac{1}{8} (-1 \times 10 - 1 \times 20 - 1 \times 30 - 1 \times 40 + 1 \times 50 + 1 \times 60 + 1 \times 70 + 1 \times 86) = 10.75.$$

Давайте посчитаем бинарные взаимодействия. Сделаем новую таблицу (табл. 4) для этого.

Таблица 4 – Матрица с учетом взаимодействия коэффициентов

№	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	Y
1	+1	-1	-1	-1	+	+	+	-	10
2	+1	+1	-1	-1	-	-	+	+	20
3	+1	-1	+1	-1	-	+	-	+	30
4	+1	+1	+1	-1	+	-	-	-	40
5	+1	-1	-1	+1	+	-	-	+	50
6	+1	+1	-1	+1	-	+	-	-	60
7	+1	-1	+1	+1	-	-	+	-	70
8	+1	+1	+1	+1	+	+	+	+	86

$$b_{12} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 x_1 x_2 y_i = \frac{1}{8} (+1 \times 10 - 1 \times 20 - 1 \times 30 + 1 \times 40 + 1 \times 50 - 1 \times 60 - 1 \times 70 + 1 \times 86) = 0.75$$

$$b_{13} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 x_1 x_3 y_i = \frac{1}{8} (+1 \times 10 - 1 \times 20 + 1 \times 30 - 1 \times 40 - 1 \times 50 + 1 \times 60 - 1 \times 70 + 1 \times 86) = 0.75$$

$$b_{23} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 x_2 x_3 y_i = \frac{1}{8} (+1 \times 10 + 1 \times 20 - 1 \times 30 - 1 \times 40 - 1 \times 50 - 1 \times 60 + 1 \times 70 + 1 \times 86) = 0.75 ;$$

$$b_{123} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 x_1 x_2 x_3 y_i = \frac{1}{8} (-1 \times 10 + 1 \times 20 + 1 \times 30 - 1 \times 40 + 1 \times 50 - 1 \times 60 - 1 \times 70 + 1 \times 86) = 0.75 .$$

Уравнение регрессии, полученное для трех факторов при планировании экспериментов, важно для дальнейшей оптимальной обработки процесса обработки

$$y(x_1 x_2 x_3) = 45.75 - 5.75x_1 - 10.75x_2 - 10.75x_3 + 0.75x_1 x_2 + 0.75x_1 x_3 + 0.75x_2 x_3 - 0.75x_1 x_2 x_3 (1)$$

Полученное уравнение (1) позволяет учесть влияние температуры, плотности и вязкости на выход процесса.

Результаты и их обсуждение

Производство высоковязкостной нефти и природных битумов можно считать экономически выгодным и целесообразным благодаря применению и разработке эффективных технологий производства нефтепродуктов с высокой рыночной стоимостью и товарных продуктов. Только в этом случае будет возможно покрыть издержки производства тяжелой нефти, которые во много раз превышают издержки производства обычной (легкой нефти). Вопрос заключается не столько в технологии, сколько в финансах: промышленники стремятся к получению легкой сверхприбыли, а предлагаемые технологии в большинстве своем используют дорогостоящие катализаторы и водород. В то же время надо обратить внимания на попытки снизить финансовые вложения путём использования существующих мощностей без их модернизации. Предлагается «удлинить» технологическую цепочку только на одно звено – получение «синтетической» нефти, которую далее можно перерабатывать на том же оборудовании и таким же способом, что и обычную нефть. Этот «блок синтетической нефти» и будет включать в себя все внедрённые технологии. Его строительство не затронет основные производственные линии вплоть до подключения и запуска, что позволит воздержаться от дорогостоящего простоя основного оборудования НПЗ. Все это побуждает ученых всего мира синтезировать более эффективный и стабильный катализатор, получать более дешевый и более доступный источник водорода (донор), выбирать различные комбинации давления и температуры и модифицировать реакторы. Результаты эксперимента показывают, что перерабатывая нефть по существующим технологиям, возможно получать синтетическое нефть из тяжелой нефти.

Литература

1. Курочкин А.К., Топтыгин С.Л. Безостаточная технология переработки тяжелых российских нефтей на промыслах // Сфера Нефтегаз. – 2011. – № 04. – С. 92–105.
2. Галиуллин Э.А., Фахрутдинов Р.З., Башкирцева Н.Ю., Ганиева Т.Ф. Новые технологии переработки тяжелых нефтей и природных битумов // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 4. – С. 47–50.

References

1. Kurochkin A.K., Topytgin S.L. Non-sufficient technology of the heavy Russian oils processing at oilfields // Sphere Neftegaz. – 2011. – № 04. – P. 92–105.
2. Galiullin E.A., Fakhrutdinov R.Z., Bashkirtseva N.Yu. New technologies of processing of heavy oils and natural bitumens // Bulletin of Technological University. – 2016. – Vol. 19. – № 4. – P. 47–50.