

УДК 622.276.8

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫСЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ С ЦЕЛЬЮ СОКРАЩЕНИЯ ПОТЕРЬ ЛЕГКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Бешагина Е.В., Будовая Е.А., Гавриков А.А.

*ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Томск, e-mail: beshagina@tpu.ru*

Исследована технология подготовки нефти на месторождении Западной Сибири. Определено количество отделяющихся легких углеводородов в сепараторах различных конструкций и испаряющихся в резервуарном парке на установке подготовки нефти. На основе существующих законов о фазовых переходах были построены математические модели процессов подготовки и хранения нефти, разработана моделирующая система, с использованием которой рассчитали материальный баланс установки подготовки нефти. Установили, что потери легких углеводородов составляют 952,7 т/г., эти результаты совпадают с результатами, полученными по методике расчета, предложенной государственным комитетом РФ по охране окружающей среды. Адекватность разработанных моделей подтверждается минимальной погрешностью в результатах, которая не превышает 0,01%. Для сокращения потерь на установке подготовки нефти предложено провести её реконструкцию и установить в технологическую схему компрессионную систему улавливания легких углеводородов на основе низкотемпературной холодильной машины Стирлинга, эффективность которой составляет 98%.

Ключевые слова: нефть, резервуар, легкие компоненты, уловитель легких фракций (УЛФ)

OIL CONDITIONING EFFICIENCY IMPROVEMENT FOR LIGHT HYDROCARBONS LOSSES DECREASING ON THE FIELD IN WEST SIBERIA

Beshagina E.V., Budovaja E.A., Gavrikov A.A.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: beshagina@tpu.ru

Nowadays problems of the collection and the use of light volatile hydrocarbons that are extracted during processes in different oilfield equipment during transportation and storage arise. The aim of given paper was to determine the amount of volatile hydrocarbons evaporated from devices installed on the researched oil field. The methodology of calculation proposed by the State Committee of the Russian Federation and the computer modeling system developed at the Department of CTF and CC of TPU have been used. As the result of given research data described losses of light hydrocarbons from the field in Western Siberia for a year were obtained. The received result is 973 tons. It has been suggested to install a compression system with a low-temperature Stirling refrigerating machine into the oil conditioning flow sheet to reduce the losses of hydrocarbons. A new flow sheet has been developed. The economic effectiveness of the project has been calculated. The payback period of the project has been found to be 1,5 years.

Keywords: petroleum, reservoir, light components, light fractions trap (LFT)

В настоящее время одним из основных средств улучшения экономических и экологических показателей на нефтяных промыслах является максимальное использование имеющихся резервов за счет сокращения потерь нефти и нефтепродуктов при подготовке и транспортировке нефти. Аналитические данные показывают, что годовые потери нефти при перекачке от скважины до установки нефтеперерабатывающего завода и нефтепродуктов при доставке от завода до потребителя включительно составляют около 9% от её годовой добычи. При этом в результате испарения из нефти уходят главным образом наиболее легкие компоненты, являющиеся основным и ценнейшим сырьём для нефтехимических производств [6].

Известно, что потери легких углеводородов (ЛУ) возникают в основном при различных сливно-наливных операциях – «большие дыхания», и при неподвижном хранении нефти в результате суточных

изменений температуры – «малые дыхания» [2].

Целью исследования являлась оптимизация установки подготовки нефти (УПН) месторождения Западной Сибири путем максимального сокращения потерь от испарения легких углеводородов из резервуаров.

Первым этапом был проведен расчет материального баланса технологической схемы подготовки нефти на исследуемом месторождении с использованием моделирующей системы, разработанной на кафедре химической технологии топлива и химической кибернетики Томского политехнического университета. В качестве исходных данных использовали: расход и состав исходной нефти, температуры и давления на всех ступенях подготовки и хранения нефти, плотность и вязкость исходного сырья (рис. 1).

Для исследования технологической схемы УПН она была представлена в виде расчетной блок-схемы (рис. 2).

Состав исходной смеси		Обводненность, масс. доли:	
CO2	1.51	H2O	0.01033
N2	3.14		
CH4	61.77	Расход сырой эмульсии, кг /год:	
C2H6	6.92		1160500000
C3H8	11.16	Молекулярная масса:	
C4H10	4.77	Остаток	151.2
C4H10	5.27	Плотность жидкости, кг,м3:	
C5H12	1.99	Остаток	756.0
C5H12	1.52		
Остаток	1.93		

Рис. 1. Исходные данные для расчета материального баланса установки подготовки нефти

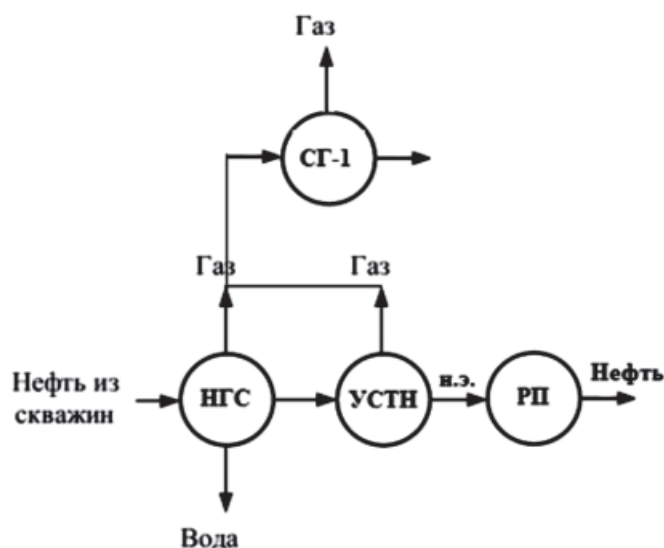


Рис. 2. Блок-схема УПН:

НГС – нефтегазовый сепаратор, СГ – сепаратор газовый, УСТН – установка сепарационная трубная наклонная, РП – резервуарный парк, н.э. – нефтяная эмульсия

Для моделирования каждого из процессов и аппаратов использованы математические модели, объединенные в единую расчетную модель. Математическая модель нефтегазового сепаратора включает в себя соответственно модель процесса сепарации и модели процессов каплеобразования и отстаивания. При моделировании процесса сепарации уравнения для расчета составов паровой и жидкой фазы получают совместным решением уравнения материального баланса процесса однократного испарения [7] и равновесия фаз:

$$\sum_{i=1}^m x_i = \sum_{i=1}^m \frac{u_i}{1 + e \cdot (K_i - 1)} = 1, \quad (1)$$

где u_i , x_i – мольные доли i -го компонента в жидком сырье, в полученных жидкой и паровой фазах соответственно; e – моль-

ная доля пара (доля отгона); m – число компонентов жидкой смеси; K_i – константа фазового равновесия.

После расчета доли отгона определяют составы равновесных фаз. Расчет констант фазового равновесия проводился по методике Шилова [7, 8], основанной на методе Гофмана Крампа Хеккота, который оптимально сочетает точность и простоту расчетных процедур.

Математическое описание процесса отстаивания основывается на известных законах осаждения капель воды под действием сил тяжести, а также различных рода эмпирических и полуэмпирических уравнениях, описывающих физико-химические свойства материальных потоков как функции технологических параметров процесса обезвоживания нефти [4].

Добиться этого можно с помощью применения понтонов или установки системы улавливания легких фракций, которая основана на сборе продуктов испарения. В данной работе был проведен расчет и подбор оптимального ва-

рианта именно для исследуемого месторождения.

В табл. 1 приведены результаты исследования на моделирующей системе выделения легких углеводородов при подготовке нефти на УПН.

Таблица 1

Аппарат	НГС	СГ-1	УСТН	РП
Расход газа, кг/час	18364	152	112	8,34·10 ⁹ *

Примечание. * при фактической приемке нефти в резервуарный парк 1100000 т/год.

Таким образом, расчет процесса отделения газа от нефти на УПН с использованием моделирующей системы позволил определить расход газа на каждой ступени сепарации и установить количество легких углеводородов, которое выделяется при хранении и транспорте нефти в резервуарном парке в течение года при фактическом приеме нефти 1100000 т/год.

Вторым этапом был проведен расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от резервуаров для хранения нефти на УПН. Согласно техническому регламенту УПН, на площадке резервуарного парка предусмотрены 6 стальных вертикальных цилиндриче-

ских резервуаров РВС ($V = 2000 \text{ м}^3$). Рабочий цикл сырьевого или товарного резервуара состоит из нескольких операций: нагрузка резервуара нефтью; отстой нефти в резервуаре; разгрузка резервуара; ожидание загрузки. При отстое, перекачке и хранении нефти в атмосферу в среднем выделяются предельные углеводороды. Углеводородный состав дегазированной нефти составляет: $C_1-C_5 - 20\%$, $C_6-C_{10} - 80\%$. Максимальный годовой объем нефти составляет 1 100 000 т/год. Расчет выбросов выполнялся по методике представленной Государственным комитетом РФ по охране окружающей среды [1]. Данные для расчета представлены в табл. 2.

Таблица 2

Конструкция резервуара	Наземный вертикальный		
Температура начала закипания нефти	°С		48,0
Емкость резервуара	м ³	V	2000
Количество резервуаров	шт.	N_p	6
Фактическая приемка нефти	т/год	B	1 100 000
Производительность закачки	м ³ /ч	$V_{\text{ч}}$	130
Давление насыщенных паров	мм рт. ст	P_{38}	330
Молекулярная масса паров жидкости		M	73,8
Опытный коэффициент для резервуара $V = 2000 \text{ м}^3$		K_p^{max}	0,8
Опытный коэффициент для $Pt = 540,0$		K_v	1
Опытный коэффициент для $t = + 30$		K_t^{max}	0,74
Опытный коэффициент для $t = + 10$		K_t^{min}	0,417
Опытный коэффициент для резервуара $V = 2000 \text{ м}^3$		K_p^{cp}	0,56
Опытный коэффициент для $n = 53,28$ раз		$K_{\text{об}}$	1,524
Плотность жидкости	т/м ³	$\rho_{\text{ж}}$	0,8

Максимально разовый выброс за одно «большое дыхание» рассчитывали по формуле:

$$M = P_{38} \cdot m \cdot K_t^{\text{max}} \cdot K_p^{\text{max}} \cdot K_E \cdot V_{\text{ч}}^{\text{max}} \cdot 0,163 \cdot 10^{-4} = 30,55 \text{ г/с.} \quad (2)$$

Расчет валового выброса (т/год) проводили по формуле:

$$G = \frac{P_{38} \cdot m \cdot (K_t^{\text{max}} \cdot K_E \cdot K_t^{\text{min}}) \cdot K_p^{\text{cp}} \cdot K_{\text{об}} \cdot B \cdot 0,294}{10^7 \cdot \rho_{\text{ж}}} = 972,14 \text{ т/г.} \quad (3)$$

Таким образом, установлено, что количество выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от резервуаров для хранения нефти на УПН составит 972,14 т/г. Этот результат совпадает с данными, полученными в ходе расчета процессов на моделирующей системе, следовательно, можно сделать вывод, что математические модели, которые использовались для расчетов процессов разделения, адекватны.

На третьем этапе с целью сокращения потерь легких углеводородов и повышению эффективности работы УПН было предложено реконструировать существующую технологическую схему за счет внедрения в неё установки улавливания легких фракций (УЛФ). Эта установка позволяет полностью ликвидировать потери углеводородов из резервуаров, избежать вредного влияния производства на воздушную среду, сохранить свойства нефтепродуктов, и за счет этого значительно снизить налог предприятия на экологию.

В работе предложено использовать компрессионную систему улавливания

легких фракций на основе низкотемпературных холодильных машин Стирлинга (стирлинг-технологий) [3]. Данная технология относится к классу конденсационных систем, обеспечивающих улавливание ЛУ за счет их охлаждения с последующей конденсацией. Система УЛФ обеспечивает (за счет герметизации резервуаров) поддержание в резервуарах и аппаратах оптимального рабочего избыточного давления, исключая выбросы вредных веществ в атмосферу, повышает надежность резервуарного хозяйства за счет снижения коррозионной активности газовой среды в результате предотвращения попадания воздуха (кислорода) в резервуары. Конструктивно машины Стирлинга (рис. 3) представляют собой удачное сочетание в одном агрегате компрессора, детандера и теплообменных устройств: конденсатора (теплообменника нагретки), регенератора и холодильника и именно поэтому в настоящее время находят все большее применение на УПН.

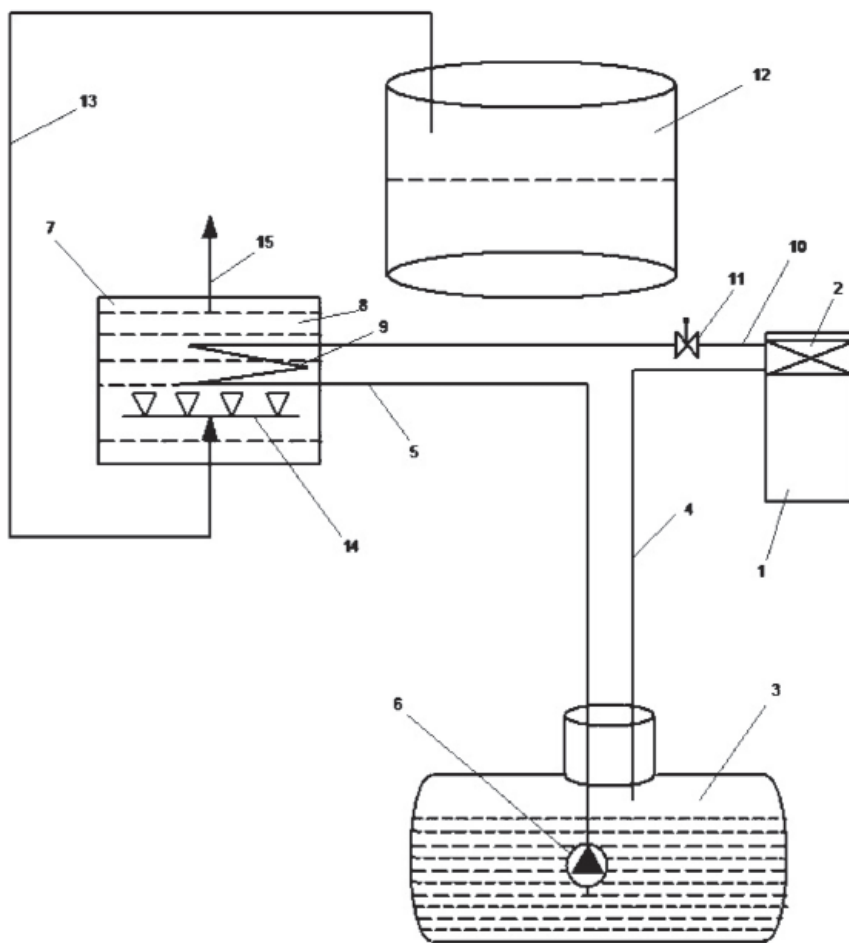


Рис. 3. Установка для улавливания паров ЛУ на основе криогенной машины Стирлинга и промежуточного контура с жидким азотом

На основании полученных результатов расчета и методики представленной НИИ ЭМ МГТУ им. Н.Э. Баумана [5] в ходе расчетов установлено, что эффективность системы улавливания легких фракций с использованием криогенной машины Стирлинга составляет 98%.

Следовательно, после установки УЛФ количество уловленных углеводородов будет равно:

$$G_{\text{ул.у.в}} = 972,14 \cdot 0,98 = 952,70 \text{ т/г.} \quad (4)$$

Расчет количества уловленных углеводородов достаточно убедительно показывает высокую эффективность применения систем УЛФ, позволяющих сохранить углеводороды, которые безвозвратно терялись в связи с отсутствием современных эффек-

тивных технических и технологических средств на исследуемом месторождении.

В результате исследований было предложено реконструировать технологическую схему за счет добавления в её состав установки улавливания легких фракций с использованием криогенной машины Стирлинга (рис. 4). Расчет экономической эффективности проекта показал, что срок его окупаемости составит всего 1,5 года. При небольших капиталовложениях и коротком сроке окупаемости такая система позволит получить не только прибыль от уловленных углеводородов, добытых с большим трудом, но и улучшить экологическую обстановку на месторождениях, исключить безвозвратные потери углеводородов и их вредное влияние на окружающую среду.

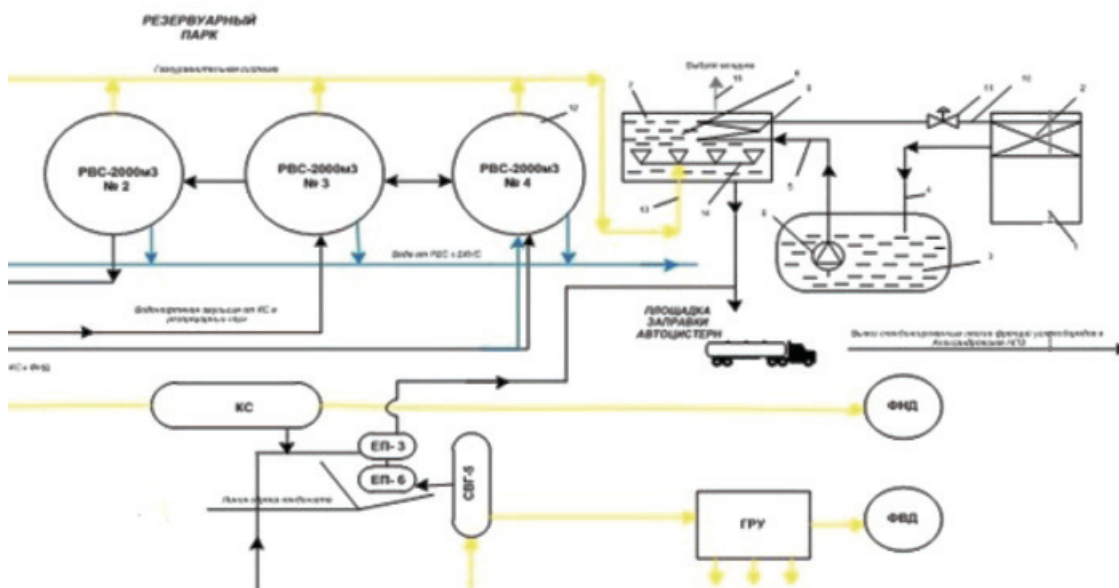


Рис. 4. Фрагмент технологической схемы УПН с установленной системой УЛФ

Выводы

1. Составлены математические модели для расчета процессов разделения в сепараторах различных конструкций и резервуарах хранения нефти.

2. С помощью моделирующей системы, рассчитан материальный баланс установки подготовки нефти месторождения Западной Сибири. Определены расходы газа в нефтегазовом, горизонтальном и наклонном сепараторах, а также количество испарений легких углеводородов из нефтяных резервуаров, которое составляет 952,7 т/г.

3. По методике, предложенной Государственным комитетом РФ по охране окружающей среды, рассчитано, что количество выбросов загрязняющих веществ в атмос-

феру от 6 резервуаров для хранения нефти на УПН составит 972,14 т/г.

4. Установлено, что разработанные математические модели адекватны, так как погрешность между экспериментальными данными и расчетными не превышает 0,01%. Разработанная моделирующая система универсальна и применима для всех подобных установок.

5. Для сокращения потерь на установке подготовки нефти предложено провести её реконструкцию и установить в технологическую схему компрессионную систему улавливания легких углеводородов на основе низкотемпературной холодильной машины Стирлинга, эффективность которой составляет 98%.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Наука» по теме 3.2702.2011.

Список литературы

1. Государственный комитет РФ по охране окружающей среды: методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vzrk.ru/images/info/rezervuari/11.pdf> (дата обращения 21.05.2013).
2. Зарипов А.Г. Комплексная подготовка продукции нефтегазодобывающих скважин. – Т. 1. - М.: Изд-во МГГУ, 1996 – 215 с.
3. Сайт ИКЦ Стирлингмаш [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.stirling.ru/stirling_rus.html (дата обращения 21.05.2013).
4. Моделирование технологии промышленной подготовки нефти / Н.В. Ушева, А.В. Кравцов, О.Е. Мойзес, Е.А. Кузьменко // Известия ТПУ. – 2005. – Т. 308, № 4 – С. 127–130.
5. Щегельский В.Г., Ермаков П.Н., Спиридонов В.С. Защита атмосферы от выбросов углеводородов из резервуаров для хранения и транспортирования нефти и нефтепродуктов // Безопасность жизнедеятельности. – 2001. – № 3. – С. 16–18.
6. Шаммазов А.М., Коршак А.А. Основы нефтегазового дела: учебник для вузов. – Уфа: ООО «Дизайн Полиграф Сервис», 2001. – 544 с.
7. Шилов В.И., Клочков А.А., Ярышев Г.М. Расчет констант фазового равновесия компонентов природных нефтегазовых смесей // Нефтяное хозяйство. – 1987. – № 1. – С. 50–55.
8. Шилов В.И., Крикунов В.В. Прогнозирование фазового состояния природных нефтегазовых систем // Нефтяное хозяйство. – 2002. – № 8. – С. 102–103.

References

1. Gosudarstvennyj komitet RF po ohrane okruzhajushhej sredy: metodicheskie ukazaniya po opredeleniju vybrosov

zagrjaznjajushhih veshhestv v atmosferu iz rezervuarov (State committee Russian Federation on environmental protection: methodical instructions by definition of emissions of polluting substances in the atmosphere from tanks) Available at: <http://vzrk.ru/images/info/rezervuari/11.pdf> (assessed 21 May 2013).

2. Zaripov A.G. Kompleksnaja podgotovka produkcii neftegazodobyvajushhih skvazhin [Complex preparation of production of oil and gas extraction wells]. Moscow. MGGU Publ., V1. 1996. 215 p.
3. Stirlingmash (2013), Available at: http://www.stirling.ru/stirling_rus.html (assessed 21 May 2013).
4. Usheva N.V., Kravcov A.V., Mojzes O.E., Kuz'menko E.A. Izvestija TPU – Bulletin of the TPU, 2005, Vol. 308, no. 4, pp. 127–130.
5. Cegel'skij V.G., Ermakov P.N., Spiridonov B.C. Bezopasnost' zhiznedeja tel'nosti – Health and safety, 2001, no. 3, pp. 16–18.
6. Shammazov A.M., Korshak A.A. Osnovy neftegazovogo dela [Bases of oil and gas business]. Ufa, Dizainpress Publ., 2001. 544 p.
7. Shilov V.I., Klochkov A.A., Jaryshev G.M. Neftyanoe khozyaistvo – Oil Industry, 1987, no. 1, pp. 50–55.
8. Shilov V.I., Krikunov V.V. Neftyanoe khozyaistvo – Oil Industry, 2002, no. 8, pp. 102–103.

Рецензенты:

Ивашкина Е.Н., д.х.н., доцент кафедры химической технологии топлива и химической кибернетики, ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск;

Косинцев В.И., д.т.н., профессор-консультант кафедры общей химической технологии Института природных ресурсов, ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.

Работа поступила в редакцию 01.07.2013.