

Примечательно, что модель объясняет и ещё один эффект воздействия пены на фильтрационный поток газа: с течением времени имеет место понижение скорости фильтрационного течения газа. Этот эффект наблюдался в экспериментах и получил название «блокирующий режим течения». Такой режим фильтрации характеризуется значительным понижением расхода газа с течением времени при постоянной водонасыщенности.

Другой эффект воздействия пены, показанный в рис. 2 по результатам работы Корнева К.Г., проявляется в нелинейной зависимости расхода газа от приложенного перепада давления в стационарных условиях.

#### Литература

1. Канн К.Б. Капиллярная гидродинамика пен. – Новосибирск: Наука. Сиб отд-ние, 1989. – 167 с.
2. Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. 2-е изд., перераб. – М.: Химия, 1983. – 264 с.
3. Корнев К.Г. Пены в пористых средах – М.: Изд. Физико-математической литературы, 2001. – 192 с.

### ПРИМЕР КОНСТРУКЦИИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Д. А. Нечаев

Научный руководитель, доцент А. В. Шадрин

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

С увеличением объемов и расширением масштабов добычи, транспортировки, переработки и использования нефти и нефтепродуктов возрос и спектр проблем, связанных с загрязнением окружающей среды. По информации организации Greenpeace, потери нефтепродуктов при добыче и транспортировке в Российской Федерации составляют около 1%, а, например, по данным НИ «Центр экологии ТЭК» – 3,5-4,5% [5]. Соответственно при текущем уровне добычи в 510 млн. тонн в год потери составляют от 18 до 23 млн т ежегодно. В связи с этим стоит острый вопрос по созданию многофункциональных современных устройств, обеспечивающих быструю и качественную ликвидацию аварийного разлива нефтепродукта (ЛАРН). Нами была предложена функциональная модель (ФМ), позволяющая создавать конструкции установок, имеющих высокий уровень агрегативности и выполняющих основные функции при выполнении процесса ЛАРН (рис. 1).

В данной работе приведен один из примеров создания универсальной установки, устройство которой полностью основано на ФМ [3]. Используя модель, нами были выделены основные функции, которые необходимо учитывать при построении конструкции оборудования для ликвидации разлива нефти:

#### 1. Передислокация

При выполнении операций ЛАРН используют различные виды по перемещению используемых при ликвидации машин. Для перемещения машин, обеспечивающих сбор нефтепродукта с грунтовой поверхности, в основном применяют бульдозеры, экскаваторы, различные грузовые машины либо применяют ручной способ передвижения. Для машин, производящих сбор нефтепродукта с водной поверхности – различные плавающие устройства (катамараны, понтоны), специализированные суда (танкеры, ледоколы), не исключен и ручной способ передвижения устройства [7].

#### 2. Сбор и извлечение загрязняющего нефтепродукта.

В настоящий момент при выполнении операции по сбору и извлечению загрязняющего нефтепродукта используется в основном механический способ. На грунтовой поверхности – это ручные щеточные олеофильные нефтесборщики, на водной поверхности – скиммеры с универсальной заборной установкой барабанного типа и модулем для сбора и откачки нефти [4]. Для эффективного использования данного оборудования применяют вакуумные установки, перекачивающие магистрали и емкости для хранения ликвидированного нефтепродукта [6].

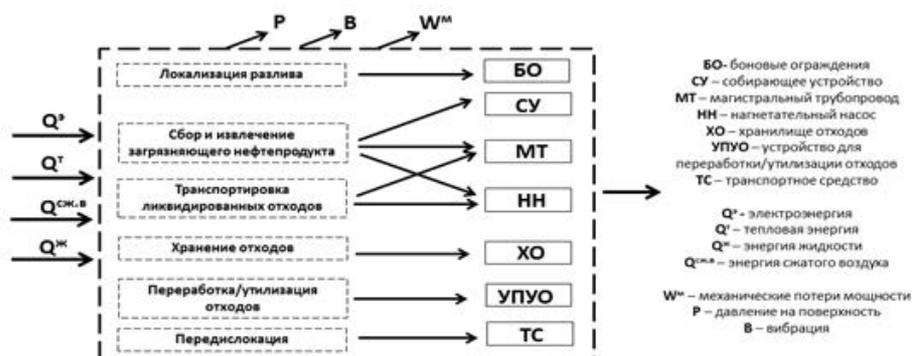


Рис. 1. Функциональная модель универсальной установки, предназначенной для ликвидации разливов нефтепродуктов

3. *Переработка/утилизация отходов.*

После проведения операции по сбору нефтепродукта механическим способом производят распыление сорбента или водорастворимого средства для удаления тонкой нефтяной пленки и устранения и последующего биоразложения разливов нефти и нефтепродуктов на твердой и водной поверхности [5]. Данная операция обеспечивается использованием таких устройств, как распылители, различные изделия из сорбентов (боны, перфорированные сорбирующие полотна). Для сбора сорбента используют сборщики, которые представляют собой ручной бензиновый пылесос, соединенный с емкостью для сбора сорбента, различные отжимные устройства для бонов и полотен. Возможен ручной сбор при помощи скребков и совковых устройств [7].

Для выполнения функции «Транспортировка ликвидированных отходов» в основном используют различные виды перекачивающих магистралей, соединяющих конструкции оборудования с емкостями, используемые для хранения нефтепродуктов. Выполнение функции «Хранение отходов» в основном выполняют резервуары (секционные, каркасные), поддоны и емкости из различных материалов [3].

Таким образом, если вышеперечисленные технические устройства включить в конструкцию установки, то она будет способна полностью выполнить все этапы работы по ликвидации нефтеразлива. Ниже представлен один из вариантов конструкции данного многофункционального оборудования (рис. 2).



Рис. 2. Схема работы универсальной установки, предназначенной для ликвидации разливов нефтепродуктов

Данная конструкция используется в стационарном режиме, когда она смонтирована на экскаваторе или судовом кране непосредственно к ковшу. Таким образом, достигается мобильность данного агрегата: ликвидация аварии происходит как на грунтовой, так и на водной поверхности. Заборное устройство барабанного, дискового или щеточного типа, используемое в конструкции устройства, позволяет выполнять операции ЛАРН как на водной, так и на грунтовой поверхности, что делает ее универсальной. Модулем для сбора и откачки нефти является непосредственно сам ковш и установленный в нем погружной насос. Следовательно, данная совокупность устройств, отвечающих за механический сбор нефтепродукта, имеет более простую конструкцию по сравнению с существующими, не уменьшая при этом эффективности выполнения операции. Также предлагается использовать установленный на наружной части ковша распылитель - систему из магистралей высокого давления, по которым перемещается сорбент, распылительных насадок, нагнетательного насоса и емкости для хранения сорбента (насос и емкость находятся вне рабочей области и ковша). Сбор отработанного сорбента предлагается выполнять заборным устройством со специальной насадкой и при помощи погружного насоса из внутренней части ковша перекачивать в соответствующую емкость. Таким образом, при использовании данной установки, возможно, производить как распределение, так и сбор сорбирующего вещества, т.е. агрегативность устройства значительно возрастает [3].

Используя, приведенную в работе ФМ, возможно создание целого ряда конструкций установок для ликвидации нефтеразливов, которые будут обладать высоким уровнем агрегативности, высокой эффективностью и простотой сборки.

Литература

1. Крец В. Г. Машины и оборудование газонепроводов: учебное пособие / В.Г. Крец, А. В. Рудаченко, В.А. Шмурыгин; Томский политехнический университет. - Томск: Изд. ТПУ, 2013.- 376 с.
2. Луценко А.Н., Катин В.Д. Передвижная установка для очистки рабочих поверхностей от разливов нефтесодержащих жидкостей и сбора сыпучих мелкокусковых материалов: Пат. 104197 Российская Федерация: МПК E01P 1/08 (2006.01). Хабаровск, ДВГУПС. № 2010144258/21; заявл. 28.10.2010; опубли. 10.05.2011, Бюл. №13. 3с.
3. Нечаев Д.А. Оценка технических средств нейтрализации аварийных разливов нефтепродуктов [Электронный ресурс] // ТВОРЧЕСТВО ЮНЫХ – ШАГ В УСПЕШНОЕ БУДУЩЕЕ Материалы VIII Всероссийской научной студенческой конференции с элементами научной школы имени профессора М.К. Коровина, 23-27 ноября

2015. – Томск: ТПУ, 2015 – С. 461-463. – Режим доступа: <http://portal.tpu.ru/files/conferences/sbornik-korovin-VIII.pdf>
4. Пашаян, А.А. Проблемы очистки загрязненных нефтью вод и пути их решения / А.А. Пашаян, А.В. Нестеров // Экология и промышленность России - май 2008. - С.32 - 35. Продукция компании НД-ЭкоСистем [Электронный ресурс] // [ndecosystems.ru](http://ndecosystems.ru) - Режим доступа: <http://www.ndecosystems.ru/products/>, свободный. – Загл. с тит. экрана (дата обращения: 20.10.2015).
  5. Применение диспергентов для обработки нефтяных разливов [Электронный ресурс] // <http://www.itopf.com> - Режим доступа: <http://www.itopf.com/ru/knowledge-resources/documents-guides/document/40b0e2bd77>, свободный. – Загл. с тит. экрана (дата обращения: 02.02.2016).
  6. Применение скimmers при ликвидации разливов нефти [Электронный ресурс] // <http://www.itopf.com> - Режим доступа: <http://www.itopf.com/ru/knowledge-resources/documents-guides/document/05-primenenie-skimmerov-pri-likvidacii-razlivov-nefti/>, свободный. – Загл. с тит. экрана (дата обращения: 02.02.2016).
  7. Продукция компании Lamor «Крупногабаритные нефтесборные системы» [Электронный ресурс] // <http://global.lamor.com> - Режим доступа: <http://global.lamor.com/ru/продукция>, свободный. – Загл. с тит. экрана (дата обращения: 15.01.2016).

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФАЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЕХНОЛОГИИ СЕПАРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СРЕД

Е. В. Николаев

Научный руководитель, профессор С. Н. Харламов

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Эффективное прогнозирование процессов разделения является важной частью при проектировании и эксплуатации оборудования многоступенчатой сепарации нефти. На данный момент существует большое количество эмпирических уравнений состояния для описания свойств углеводородных сред. Известно, что в практике прикладных расчетов широко применяются два вида уравнений: многокоэффициентные и кубические [3]. Наиболее удобными из них являются кубические уравнения состояния, которые преобладают по достоверности предсказания свойств чистых веществ и их смесей многокоэффициентные уравнения. Сравнение по достоверности моделирования свойств углеводородных сред по различным уравнениям проведено А. И. Брусиловским [3]. Целью работы является термодинамический анализ и выявление закономерностей процесса сепарации углеводородных сред, а также выдача рекомендаций в практику прикладных расчетов компонентного состава сложных сред в диапазоне изменений термобарических условий: температуры  $T \cong 0 \div 70^\circ\text{C}$  и давления  $P \cong 50 \div 700 \text{ кПа}$ .

Расчет фазового равновесия производится в первом приближении с помощью совместного решения уравнений Дальтона и Рауля, предположив, что паровая фаза будет подчиняться законам идеального газа, а жидкая фаза будет являться идеальным раствором. Второе приближение с помощью уравнений состояния проводится путем итераций и основано на суровом применении классических аспектов термодинамики в многокомпонентных системах – равнозначности летучесть компонентов смеси во всех сосуществующих фазах [2, 3]. В качестве метода решений на первых итерациях применяют метод последовательных приближений. Если решения не достигают, то поиск продолжают методом Ньютона [3].

Модель первой ступени сепарации была построена на базе данных пластовой нефти Вынгапуровского месторождения [5], у которой обводненность  $G = 72,5\%$ , плотность  $\rho = 817,4 \text{ кг/м}^3$ , молекулярная масса  $M = 91 \text{ кг/кмоль}$  с помощью программного комплекса Aspen HYSYS в стационарном режиме в рамках равновесной термодинамики. Заметим, что усилия по корректировке алгоритмов, по которым работает HYSYS, в силу его закрытости бесперспективны [1]. В качестве термодинамического пакета было выбрано уравнение состояния Пенга-Робинсона, которое в кубической форме имеет вид [2, 8]:

$$Z^3 + (B-1)Z^2 + (A-2B-3B^2)Z + (B^2 + B^3 - AB) = 0$$

здесь  $A$ ,  $B$  – коэффициенты уравнения, которые выражаются через критические свойства и ацентрические факторы компонентов, а также через давление и температуру системы;  $Z$  – коэффициент сжимаемости.

Усовершенствованное фирмой Huprotech это уравнение состояния наиболее точно описывает разнообразные системы в широком диапазоне термобарических условий относительно других уравнений, поэтому многие авторы используют именно это уравнение, как в России, так и за рубежом, например [6, 7]. Авторы утверждают, что результаты расчета, полученные в программе HYSYS на базе уравнения Пенга-Робинсона, могут не совпадать с результатами, полученными с помощью других коммерческих программ на базе аналогичного уравнения. Как объясняют авторы, это связано с тем, что уравнение состояния Пенга-Робинсона в среде HYSYS содержит модифицированные коэффициенты бинарного взаимодействия [2].

В силу отсутствия экспериментальных данных, для проверки нашей модели на адекватность, сравнили полученные результаты с результатами расчетов других авторов [5] при аналогичных термобарических условиях:  $P = 0,6 \text{ МПа}$ ,  $T = 15^\circ\text{C}$ . В качестве термодинамического пакета помимо уравнения состояния Пенга-Робинсона, с целью сравнительного анализа, были использованы различные модели: уравнение состояния Ли-Кеслера-Плокера, полуэмпирическая модель Грейсона-Стрида, уравнение NRTL (non-random two-liquid), разработанное Реноном и Праузицем. (табл. 1)