

1750 см<sup>-1</sup>, валентные колебания бензольного кольца в области 1450 см<sup>-1</sup>. Спектральный анализ тех же проб, экстрагированных гептаном в ультрафиолетовой области (УФ-спектроскопия) показывает, что в исследуемых спектрах отмечается всплески в области от 200 до 250 нм, характерные для ароматических углеводородов.

Приведенные результаты исследований свидетельствуют о том, что в ПЗП коагулирующие глинистые образования претерпевают с течением времени молекулярно-поверхностные изменения и преобразуются в органофильные глинистые комплексы, которые вследствие своих аномальных реологических свойств обладают слабой подвижностью. Для разрушения структуры таких образований, консистенция которых может варьировать от суспензии до паст, предлагается воздействовать на них химически-активными композициями с синергетическим эффектом действия. Этот эффект проявляется в последовательном воздействии химических соединений из состава композиции на органические вещества, блокирующие обменные места на поверхности глинистых минералов с дальнейшим переводом этих веществ в дисперсионную среду глинистой суспензии и последующей адсорбции в обменных местах катионов, обладающих слабой гидратацией. Отмеченные процессы позволяют снизить консистенцию глинистой дисперсной системы и создать условия для ее эвакуации на дневную поверхность при гидродинамическом освоении скважины. Приведенным требованиям по физико-химическому механизму воздействия могут удовлетворять химические композиции, включающие в себя органические растворители и водный раствор поверхностно-активных монокарбоновых кислот (C1-C5) в соотношениях близких к получению гомогенизированной смеси [2].

Для практической оценки способности предлагаемой химически-активной композиции осуществлять разрушение структуры органофильных глинистых образований проводили сравнительные экспериментальные исследования на специальной экспериментальной установке, основу которой составляют торсионные весы Фигуровского, на которых дополнительно установили перфорированную площадку для испытываемых образцов глины, помещаемых в различные среды (реагенты для разглинизации). Перфорация посадочной площадки предназначена для обеспечения возможности удаления продуктов разрушения органофильных глинистых образований (испытываемых образцов) и измерения гравиметрической кинетики их разрушения. В качестве критерия стабильности структуры испытываемых глинистых образований, по которому проводили оценку воздействия исследуемых сред использовали гравиметрически фиксируемый показатель потери веса образцов на перфорированной площадке весов Фигуровского. Проведенная предварительно оценка и воспроизведение опытов показали на устойчивую корреляцию потери веса испытываемых образцов на весах Фигуровского и кинетики их разрушения при контакте с различными средами.

В результате исследований контакта глинистых образцов с различными средами установлено, что предлагаемая химически-активная композиция оказывает наиболее значительное воздействие на разрушение структуры органофильных глинистых образований (наблюдается разрушение до 98 % первоначальной объемной формы образцов) по сравнению с другими химическими реагентами различного строения, которые характеризуются поверхностной активностью на границе раздела фаз, причем концентрация их в исследуемых средах соответствовала показателю максимальной поверхностной активности  $\frac{\partial \sigma}{\partial c}$  (согласно изотерм поверхностного натяжения).

В процессе проведения экспериментов установлено, что продолжительность выдержки химически-активной композиции в ПЗП при контакте с коагулирующим материалом для достижения наилучшего эффекта разглинизации должна быть не менее 20 часов, что связано с протеканием в дисперсной системе процессов растворения органических соединений и адсорбции обменных катионов на поверхности глинистых минералов.

#### Литература

1. Валеев М.М., Сахипов Ф.А. Латыпов А.Г. Повышение продуктивности скважин // Газовая промышленность. – 2000. – № 8. – С.38 – 40.
2. Латыпов А.Г. Неравновесные дисперсные системы в процессах эксплуатации скважин и пластов подземных хранилищ газа // Нефтегазовое дело. – 2003. – Т. 1. - № 1. – С.203 – 210.

## БУДУЩЕЕ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

**А.В. Сидельников**

Научный руководитель – доцент Н.В. Чухарева

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

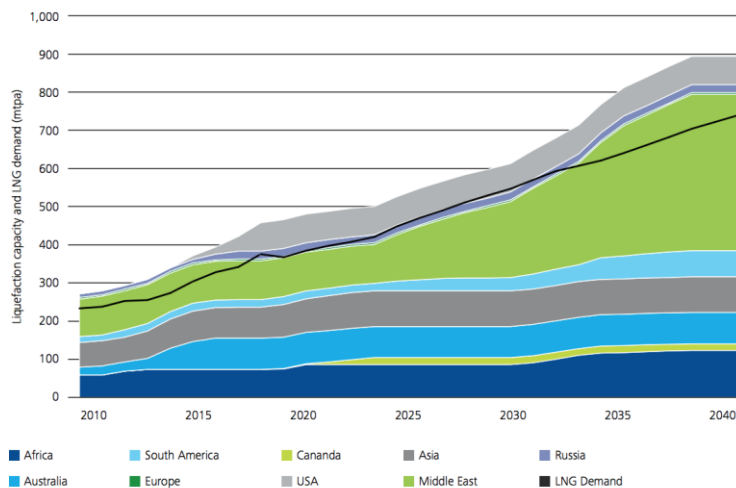
Мировая энергетика в XXI веке вступила в полосу гигантских преобразований. Высокие цены на энергоносители в начале столетия подтолкнули научно-технический прогресс, что привело не только к повышению межтопливной конкуренции, но и к росту конкуренции между традиционными и нетрадиционными источниками углеводородов, а также интенсифицировали процессы энергосбережения, ограничивая тем самым темпы роста мирового энергопотребления. В эти же годы мировым сообществом была артикулирована проблема необходимости предотвращения изменений климата, ставшая драйвером усилий по ограничению роли ископаемого топлива [6]. При этом стремительно меняется сама архитектура мировых энергетических рынков, перераспределяются роли между основными их участниками, появляются новые игроки и формируются новые региональные рынки, а действующие – меняют правила своего функционирования [2].

В этих условиях энергетика мира оказывается в ситуации значительной неопределенности, что имеет крайне серьезные последствия для России, которая является одним из лидеров мировой энергетики и крупнейшим участником международных энергетических рынков. В экономике России топливно-энергетический комплекс (ТЭК)

## СЕКЦИЯ 17. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА

и экспорт его продуктов занимают уникальное положение, и их динамика прямо влияет на устойчивость национальной экономики. Поэтому адекватное видение развития данного сектора в долгосрочной перспективе имеет большое значение при прогнозировании и планировании развития экономики страны [5].

В Российской Федерации активно развивается новый топливно-энергетический комплекс по производству сжиженного природного газа (СПГ), в связи с этим происходит расширение поставок российского природного газа на экспорт. После периода замедленного роста предложения СПГ в 2012-2016 годах, к 2020 году ожидается крупномасштабное расширение мощностей по сжижению – они более чем удвоятся по сравнению с 2015 годом [4]. В первую очередь речь идет о целом ряде крупных проектов в Австралии и США. После 2025 года ожидается выход на глобальный рынок и крупных дополнительных объемов СПГ из России и стран Ближнего Востока. СПГ на мировом рынке энергоресурсов занимает лидирующие позиции, а его актуальность только растет, однако транспортировка этого вида топлива имеет свои особенности. Мощности, которыми обладают страны по сжижению и глобальный спрос на СПГ 2011-2040 гг представлены на рис. 1[3].



**Рис. 1** Мощность сжижения по странам и глобальный спрос 2011-2040 гг.

Проблемой транспорта сжиженных природных газов по магистральным трубопроводам занимаются ученые многих стран, т.к. совокупность конкретных параметров и рекомендаций для условий, в которых магистральный трубопровод СПГ мог бы конкурировать с обычным газопроводом, достаточно широка, но на данный момент основной способ доставки СПГ потребителю – морской, при помощи танкеров газозовозов [1].

Газозовы являются плавучими резервуарами, хранилищами СПГ (они перевозят СПГ в охлажденном виде и под давлением, несколько больше атмосферного). Эксплуатация танкеров представляет собой многофазную систему, состоящую из: стоянки под загрузкой, пути с грузом, стоянки под разгрузкой, пути обратно без груза [8, 9].

Целью работы является создание математической модели, связывающей производимое количество сжиженного газа и своевременную подачу танкеров-газовозов под его вывоз с терминала, т.е. для обеспечения налаженного регулярного режима работы всего комплекса в целом.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующую задачу:

– получить алгоритм расчета необходимого количества танкеров-газовозов для бесперебойной работы завода по производству СПГ, учитывая объемную мощность завода и грузоподъемность танкеров.

Исходными данными для расчетов должны служить следующие показатели: грузоподъемность планируемых к использованию танкеров, объем газохранилищ, плотность метана, мощность завода, фактор максимально возможного хранения СПГ в резервуаре в разное время года.

Поток производства сжиженного природного газа может описать закон равномерной плотности:

$$f(x) = \frac{1}{\beta - \alpha}, \quad (1)$$

где:  $(\beta, \alpha)$  – диапазоны колебаний заводской производительности

Далее  $n$  принимаем за среднюю производительность завода.

$$\begin{aligned} \alpha &= n(1 - \Delta) \\ \beta &= n(1 + \Delta) \end{aligned} \quad (2, 3)$$

где:  $\Delta$  – отклонение (относительное) от среднего значения в отрицательную или положительную стороны, %.

Коэффициент вариации для закона равномерной плотности:

$$v = \frac{\beta - \alpha}{\sqrt{3}(\alpha + \beta)} \quad \text{или} \quad v = \frac{2n\Delta}{\sqrt{3}n} = \frac{2\Delta}{\sqrt{3}} \quad (4, 5)$$

Далее,  $\lambda$  (т/сут) – это интенсивность поступления СПГ в резервуары хранения, а  $\mu$  (т/сут) – искомая величина, обеспечивающая непрерывную отгрузку СПГ.  $D_{\text{ч}}$  (т) – грузоподъемность судна.

$$\mu^* = \frac{\mu}{D_u}, \quad \lambda^* = \frac{\lambda}{D_u} \quad (6, 7)$$

Для расчета интенсивности поступления СПГ  $\lambda$  используем формулу:

$$\lambda = \frac{P_z}{360}, \quad (8)$$

где:  $P_z$  – производительность завода по переработке СПГ, т/год;

360 – количество учитываемых дней в году.

Для определения необходимого количества судов (N) для стабильного и бесперебойного вывоза СПГ, используем формулу:

$$N = \mu^* \cdot t_p, \quad (9)$$

где:  $t_p$  – среднее время рейса (сут).

Так же учитывается  $t_{ож}$  – фактор максимального хранения СПГ в резервуаре, который учитывает процент допустимых потерь вследствие испаряемости сжиженного природного газа. Прибытие судов и поступление груза – регулярные события, поэтому коэффициент вариации потоков принимается промежуточным значением от 1 (простейший поток) до 0 (регулярность потока). Преобразуя формулу Литтла и Файанберга:

$$t_{ож} = \frac{\rho^2(V_{\lambda^*}^2 + V_{\mu^*}^2)}{2\lambda^*(1-\rho)}, \quad (10)$$

где:  $V_{\lambda^*}$  – коэффициент вариации прибытия судов;

$V_{\mu^*}$  – коэффициент вариации поступления груза.

Затем рассчитывается резерв  $R$  из получившейся совокупности судов:

$$R = (\mu^* - \lambda^*) \cdot t_p, \quad (11)$$

Далее рассчитывается  $S$  (%) – устойчивость отдельно для летнего и зимнего периода:

$$S = \left(1 - \frac{R}{N}\right) \cdot 100\%, \quad (12)$$

И находим круглогодичную устойчивость работы:

$$S = \left(\frac{S_l \cdot \tau_l + S_z \cdot \tau_z}{12}\right) \cdot 100\%, \quad (13)$$

где:  $\tau_l$  – количество летних месяцев;

$\tau_z$  – количество зимних месяцев.

Полученный алгоритм позволяет рассчитывать необходимое количество танкеров-газовозов для обеспечения бесперебойного режима работы экспортного комплекса на заводе по переработке сжиженного природного газа с определенной устойчивостью работы.

#### Литература

1. Александров В.А. Производство и применение сжиженного природного газа, – М.:НПКФ «ЭКИП», 2004 г.
2. Деточенко Л.В. Сжиженный природный газ как новый фактор в географии мирового энергетического хозяйства, – М. Олимп-Бизнес, 2000 г.
3. Oil & Gas 360. Petrobras Cuts 2020 Production Estimates by 30 % in Latest Business Plan. URL: <http://www.oilandgas360.com/petrobras-cuts-2020-production-estimates-by-30-in-latest-business-plan/> (Дата обращения: 07.11.2017 г.).
4. Luketa-Hanlin A. A review of large-scale LNG spills: Experiments and modeling //Journal of hazardous materials. – 2006. – Т. 132. – №. 2-3. – С. 119-140.
5. Макаров А. А. и др. Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года (2013). – 2013.
6. Макаров А. А., Григорьев Л. М., Митрова Т. А. Эволюция мировых энергетических рынков и ее последствия для России //М.: ИНЭИ РАНАЦ при Правительстве РФ. – 2015.
7. Höök M., Tang X. Depletion of fossil fuels and anthropogenic climate change—A review //Energy Policy. – 2013. – Т. 52. – С. 797-809.
8. Гольянов А. И. Газовые сети и газохранилища. – Монография, 2004.
9. Касаткин Р. Г. Методика обоснования логистической системы морской транспортировки сжиженного природного газа из Арктики. Дисс. к. техн. н. – СПб., 2006.