

# А Т О М Н А Я

## ДЛЯ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА

Е.П. Велихов,  
В.Ф. Демин,  
Н.Ш. Исаков,  
А.Ю. Казеннов,  
Д.А. Крылов,  
В.П. Кузнецов,  
В.Н. Лысцов  
(НИЦ «Курчатовский институт»)

И.Э. Ибрагимов,  
Д.А. Мирзоев  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

# Э Н Е Р Г Е Т И К А



**В** последние десятилетия значительно выросли объемы мировой добычи углеводородов на шельфовых месторождениях. Это объясняется прежде всего развитием современных морских технологий добычи, подготовки и транспортировки полученного сырья. Но это не единственная причина. Сегодня многие говорят об угрозе истощения земных недр на материках. Поэтому на шельфовые месторождения арктических морей возлагаются большие надежды. Их освоение входит в число стратегических приоритетов России.

### Задача

Разработка и обустройство месторождений на арктическом шельфе требует огромных капиталовложений. И здесь главный вопрос — обеспечение арктических нефтегазовых промыслов электроэнергией.

Сегодня для освоения шельфовых углеводородных ресурсов, в первую очередь замерзающих морей, интенсивно развиваются инновационные подводные промыслы, при которых все оборудование делается в подводном исполнении. В ледовых условиях арктического шельфа это единственно возможный способ. Во-первых, значительная часть акватории Арктики круглый год покрыта льдами, во-вторых, месторождения могут быть значительно удалены от берега.

Сейчас для обеспечения энергией морских нефтяных и газовых месторождений используют углеводородные энергетические установки. Их размещают на платформах или на берегу, откуда передают электроэнергию по подводному кабелю. В Арктике удаленность от берега составляет порой много сотен километров. К этому нужно прибавить постоянный ледовый покров. Все это значительно осложняет или вовсе исключает передачу электроэнергии по подводному кабелю.

Необходимо учитывать и экологические последствия такого метода энергообеспечения. Высокий уровень установленных мощностей и их работа в течение десятилетий в случае использования углеводородного топлива повлечет за собой огромные выбросы в атмосферу парниковых газов, а также увеличит вероятность разливов жидкого топлива в океане. Поэтому энергообеспечение арктических технологий должно соответствовать высокому уровню экологической и промышленной безопасности.

Объемы аварийных разливов нефти при ее транспортировке на порядок выше, чем при морской добыче, при этом большинство аварий танкеров, повлекших разливы нефти, связаны с человеческим фактором. Кроме того, ситуацию

в акваториях арктического шельфа усложняют ледовая обстановка, обледенение судов, плохая видимость из-за туманов и протяженного зимнего периода. Известная катастрофа танкера *Exxon Valdez* у южных берегов Аляски оказала огромное негативное воздействие на экосистему региона и показала особую экологическую уязвимость Арктики.

## Энергообеспечение арктических технологий должно соответствовать высокому уровню экологической и промышленной безопасности

В то же время на основе российского опыта применения атомной энергии в Арктике можно с уверенностью сказать, что без использования ядерных энерготехнологий дальнейшее освоение Арктического региона немислимо.

### Сколько надо энергии?

На прошедшей в прошлом году в Мурманске пятой Всероссийской морской научно-практической конференции было сказано, что по данным Геологической службы США (*USGS*) в Арктическом регионе сконцентрировано более 22% мировых ресурсов углеводородного сырья, в том числе 30% природного газа, 20% газового конденсата и 13% сырой нефти. При этом до 70% ожидаемых запасов сосредоточено в российском секторе.

Энергетической стратегией РФ на период до 2035 г. извлекаемые ресурсы углеводородов континентального шельфа России определяются в 90,3 млрд т условного топлива, из них 16,5 млрд т нефти с конденсатом и 73,8 трлн м<sup>3</sup> газа. Около 70% этих ресурсов приходится на шельфы Баренцева, Печорского и Карского морей, составляющих около 50% арктического шельфа России. С учетом

предполагаемых коэффициентов извлечения нефти — 0,3 и газа — 0,85, примем, что объем извлекаемых ресурсов нефти и конденсата в западной части арктического шельфа в недрах Баренцева, Печорского и Карского морей составит 3,5 млрд т, а газа — 44 трлн м<sup>3</sup>.

По прогнозам экспертов, к 2035 г. Россия будет добывать на своем арктическом шельфе до 30 млн т нефти и 130 млрд м<sup>3</sup> газа в год.

Сегодня удельные энергозатраты различных нефтегазовых технологий при извлечении нефти составляют, по данным Штокмановского газоконденсатного и Приразломного нефтяного проектов и проектов производства сжиженного природного газа (СПГ), 70 кВт·ч/т, а газа — 10 кВт·ч / 1 тыс. м<sup>3</sup>. На промышленную обработку и сжатие 1 тыс. м<sup>3</sup> газа уходит 30–70 кВт·ч, а на ожижение — 230–350 кВт·ч.

**Исходя из этого при заданных темпах для добычи углеводородных ресурсов на арктическом шельфе России необходимы следующие мощности:**

на извлечение нефти на месторождениях	<b>0,24 ГВт</b>
на извлечение газа	<b>0,0104 ГВт</b>
на подготовку и сжатие газа (компримирование) по всему жизненному циклу промысла	<b>0,14 ГВт</b>
на дожимное компримирование газа, вторая половина жизненного цикла промысла	<b>в среднем 0,5 ГВт</b>
на ожижение 50% всего объема добытого газа по всему жизненному циклу промысла	<b>в среднем 2,1 ГВт</b>

Суммарная усредненная оценка потребности в электроэнергии, таким образом, составляет 3,4 ГВт, т.е. мощность, необходимая для энергообеспечения нефтегазовых производств на арктическом шельфе России, может достигнуть весьма значительной величины. При этом не оценивались и не учитывались энергозатраты на разведку и морские перевозки углеводородов.

Примерно 40% необходимой электроэнергии можно передать по подводным кабелям объектам, расположенным на расстоянии до 200 км. Практически подтверждена возможность передачи по подводному кабелю постоянным током мощности на уровне 250 МВт на расстояние 200 км. Стоимость такого кабеля достигает 1 млн € за км.

Оставшиеся 60% для энергообеспечения промыслов, отстоящих от берега более чем на 200 км, должны быть реализованы в автономном подводно-подледном исполнении. Здесь автономная атомная энергетика малых мощностей представляется безальтернативной.

**В зависимости от вида и функций объекта нефтегазового промысла уровни необходимых мощностей электрогенерации должны составлять:**

на собственные нужды	<b>5–10 МВт</b>
на извлечение скважинной продукции	<b>30–40 МВт</b>
на компримирование газа	<b>250–300 МВт</b>
на ожижение газа	<b>300–600 МВт</b>

Очевидно, что из условий надежности необходимая мощность энергообеспечения нефтегазовых объектов и процессов на арктическом шельфе будет, как и в других энергоемких технологиях, достигаться одновременным подключением и использованием нескольких энергоисточников меньших единичных мощностей. Можно определить, что для энергообеспечения освоения арктического шельфа потребуются инновационные атомные энергоисточники единичной мощностью, не превышающей 300 МВт, что соответствует диапазону малых мощностей по определению МАГАТЭ. Этот диапазон в основном соответствует освоенному в эксплуатационной, производственной и проектной практике российского атомного судостроения.

### Что лучше?

В условиях арктического шельфа главные требования к энергетическим установкам — повышенная надежность и минимальное воздействие на окружающую среду. Не менее актуально требование минимального обслуживания вплоть до полной автономности энергетической установки.

Таким условиям идеально отвечают действующие и проектируемые судовые АЭУ (атомные энергетические установки) и объекты на их основе. Опыт российской судовой атомной энергетики (АЭ) превышает 6 тыс. реакторо-лет и составляет около половины опыта мировой атомной энергетики. Судовую АЭ отличают:

- упрощенная конструкция;
- промышленное серийное производство;
- минимальное обслуживание вплоть до полного отсутствия такового в процессе работы;
- наличие инфраструктурного обеспечения реализации всего жизненного цикла судовых АЭУ от проектирования до утилизации.

Высокая надежность судовых АЭУ подтверждена в том числе в произошедших катастрофах морских объектов с атомными энергетическими установками.

Обслуживание АЭУ, установленных на объектах морской нефтегазодобычи в Северном Ледовитом океане, может быть обеспечено ядерной инфраструктурой российского Севера.

Использование энергоисточников, сжигающих органическое топливо, будет определяться следующими факторами:

- полная технологическая освоенность в необходимом диапазоне мощностей;
- неизбежное наличие значительных и длительных выбросов парниковых газов;
- необходимость изготовления, прокладки и поддержания работоспособности подводно-подледных протяженных силовых кабельных сетей;
- невозможность автономного углеводородного энергообеспечения подводно-подледных объектов морских нефтегазовых промыслов в ледовых условиях арктического шельфа на больших удалениях от берега.

В то же время атомное энергообеспечение сократит вероятность разливов нефти во льдах, для ликвидации которых сегодня нет эффективных технологий.

### Что чище?

Атомная энергетика — наиболее экологически чистый способ генерации универсальной энергии для освоения ресурсов арктического шельфа.

50-летнее присутствие атомного флота в Северном Ледовитом океане, даже с учетом аварий в начальный период атомной истории Арктики, не оказало заметного влияния на окружающую среду. Концентрация радионуклидов в воде и биологических организмах осталась практически на фоновых уровнях. Более явным оказался перенос некоторых нуклидов с радиохимических заводов Великобритании и Франции в Баренцево и Карское моря. Использование АЭУ для энергообеспечения нефтегазовых промыслов на арктическом шельфе не повлечет за собой каких-либо выбросов в атмосферу. Тепловое воздействие на воды Северного Ледовитого океана будет локальным и несопоставимо малым в сравнении с естественными колебаниями температур от постоянно действующих факторов и океанских течений.

Морская добыча и перевозки нефти ведутся более 100 лет. Сегодня загрязнение нефтяными углеводородами акватории Северного Ледовитого океана распространяются вплоть до Северного полюса и в отдельных акваториях превышают допустимые пределы. Отмечается и негативное воздействие канцерогенов и других биологически активных веществ на некоторые виды арктической фауны.

Использование топливного газа, наиболее чистого углеводородного энергоресурса, для энергообеспечения морской добычи нефти и газа в Арктике при ожидаемых объемах и продолжительности производств приведет к нежелательным выбросам в атмосферу огромного количества парниковых

газов. При использовании топливного газа и при суммарной установленной мощности энергоисточников на уровне 3,4 электрических ГВт выбросы в атмосферу составят (по данным для турбогенераторов с газотурбинными приводами *Rolls-Royce* с КПД 42%.):

- $CO_2$  — не менее 6 млн т/г.;
- $NO_x$  — не менее 4 тыс. т/г.;
- $CO$  — не менее 1 тыс. т/г.

Таким образом, только в западной части российского арктического шельфа выбросы парниковых газов при углеводородном энергообеспечении промыслов и производств за время извлечения объявленных объемов нефти и газа составят миллиарды тонн.

В сокращении выбросов кроется и значительный экономический эффект. Сегодня цена выбросов двуокиси углерода составляет несколько десятков долларов за тонну, в будущем она будет только расти.

В случае использования дизельного топлива к выбросам в атмосферу добавятся  $SO_2$ , сажа и другие опасные продукты.

По усредненным данным, радиоактивность по  $^{226}Ra$  сопутствующих сред (рассолов) при добыче нефти в Арктике составляет от 8,8 тыс. до 28,6 тыс. Бк/м<sup>3</sup>. В Северном море на 1 т добываемой сырой нефти приходится 0,85 т сопутствующей радиоактивной воды. При добыче 100 млн т нефти в год количество извлеченной попутной воды составит  $8,5 \cdot 10^7$  т, и в ней будет содержаться 0,7–2,1 ТБк (20–60 Ки)  $^{226}Ra$  плюс почти такие же количества  $^{224}Ra$  и  $^{222}Rn$ . Примерно столько же  $Ra$  будет поступать в окружающую среду и с тверды-

## Сегодня загрязнения нефтяными углеводородами акватории Северного Ледовитого океана достигают Северного полюса и в отдельных акваториях превышают допустимые пределы

ми радиоактивными отходами (шламом, отложениями на оборудовании и т.д.). Таким образом, при добыче 30 млн т нефти в год на арктическом шельфе общее количество поступающей радиоактивности составит ~60 Ки/год. Радиоактивность 1 км<sup>3</sup> морской воды за счет содержащегося в ней естественного радионуклида  $^{40}K$  составляет ~300 Ки.

Радиоактивность, поступающая из недр Земли при добыче природного газа, больше, чем при добыче нефти. В газе, добываемом в Северном море, содержание  $^{222}Rn$  в 1 м<sup>3</sup> природного газа в зависимости от пород колеблется в пределах от 30 тыс. до 54 тыс. Бк/м<sup>3</sup>. Для Арктики среднее значение

$^{222}\text{Rn}$  в  $1 \text{ м}^3$  природного газа составляет примерно  $100 \text{ Бк/м}^3$ , что для  $130 \text{ млрд м}^3$  составит около  $300 \text{ Ки/год}$ .

Для более точных оценок должны быть проведены исследования добываемого газа в конкретном районе на наличие в нем  $^{222}\text{Rn}$  и продуктов его распада.

Прямые радиологические последствия таких загрязнений для всего Арктического региона считаются незначительными.

Для сравнения: суммарная активность РАО и затопленных в Карском море конструкций аварийных объектов составляет примерно  $100 \text{ кКи}$ ; активность отработавшего ядерного топлива в реакторах затонувшей в 2003 г. на входе в Кольский залив АПЛ Б-159 равна  $140 \text{ кКи}$ ;  $90 \text{ кКи}$  — в реакторе АПЛ «Комсомолец».

### Что безопаснее?

По данным МАГАТЭ, риски отдаленных негативных последствий для населения от воздействия АЭ в десятки и сотни раз меньше, чем риски от энергетики углеводородной. Приведенный ущерб при производстве электроэнергии с учетом выбросов в окружающую среду и аварий на атомных, газовых и угольных электростанциях составляет в случае атомной энергетики  $0,002 \text{ руб./кВт}\cdot\text{ч}$ . В случае газовой энергетики это число вырастает до  $0,5 \text{ руб./кВт}\cdot\text{ч}$ , а при энергетике угольной превышает  $1,1 \text{ руб./кВт}\cdot\text{ч}$ . Таким образом, приведенный ущерб от работы атомной электростанции на два–три порядка ниже по сравнению с углеводородной электростанцией.

Приведенный ущерб при производстве электроэнергии, руб./кВт·ч			
Стадия топливного цикла; фактор воздействия	Атомная энергетика	Газовая энергетика	Угольная энергетика
Выбросы нерадиоактивных и радиоактивных веществ	0,00003	0,03	0,5
Аварии	0,002	—	≤0,01
Выброс парниковых газов	—	0,5	0,6–0,9
Сумма	0,002	0,53	1,1–1,4

Уменьшение мощности АЭУ увеличивает ее безопасность. Инновационная атомная энергетика малых мощностей — наиболее безопасная и надежная для энергообеспечения добычи нефти и газа в ледовых условиях арктического шельфа. Рассматриваемые для использования в арктическом морском нефтегазовом производстве АЭУ относятся к установкам малых мощностей. Для них — в рамках существующих подходов к ядерному страхованию — может быть обеспечена полная финансовая ответственность оператора за возможный ядерный ущерб.

### Что дешевле?

Экономика атомного энергообеспечения нефтегазового производства на арктическом шельфе требует глубокого всестороннего сравнительного с альтернативной энергетикой анализа.

Полученные ранее данные дали неожиданные результаты. Так, в начале нулевых годов было выполнено сравнительное исследование вариантов энергообеспечения оживления одной очереди добычи Штокмановского природного газа ( $22,5 \text{ млрд м}^3$  в год) с использованием энергии газа и с атомным энергообеспечением. Потребная мощность энергообеспечения такого производства достигает  $600 \text{ МВт}$  (эл). Было показано, что атомное энергообеспечение с использованием двух атомных станций на базе реакторных установок типа ВБЭР-300 разработки ОКБМ им. И.И. Африкантова было бы дешевле газотурбинного.

### Системный подход

Атомное энергообеспечение подводно-подледных нефтегазовых промыслов на арктическом шельфе должно планироваться и осуществляться на основе системного подхода к организации их жизненного цикла. После окончания срока службы никакие элементы технических систем не должны оставаться в акватории.

В настоящее время успешно ликвидируются радиационные последствия функционирования российского атомного флота в Арктике; на очереди — подъем крупногабаритных радиационно опасных аварийных конструкций, затопленных в начальный период атомной истории Арктики.

Однако безопасность нефтегазового производства в условиях арктического шельфа на базе атомного энергообеспечения требует оптимизации правовых, институциональных и технических решений.

Атомное энергообеспечение добычи ресурсов нефти и газа арктического шельфа может стать базовой технологией, на основе которой появятся новые технические решения в подводно-подледных технологиях разведки, добычи, подготовки и транспортировки скважинной продукции. С экологической точки зрения атомная энергетика безальтернативна для энергообеспечения нефтегазовых промыслов в ледовых условиях арктического шельфа и на удаленных от береговой инфраструктуры расстояниях. ■