

Сахалин II: Строительство первых в России резервуаров хранения СПГ

Авторы: Мартин Брокман и Брайан Руни, CB&I, США

Sakhalin II: The First LNG Storage Tanks in Russia

By Martin Brockman and Brian Rooney, CB&I, USA



На далеком острове Сахалин полным ходом идет строительство двух первых в России резервуаров хранения СПГ объемом 100000 м³ каждый. Проект Сахалин II, известный тем, что в нем многое выполняется впервые, прокладывает дорогу для строительства будущих объектов хранения СПГ в России.

Удаленность Сахалина, суровый климат, высокая сейсмичность и отсутствие государственных стандартов для сооружений СПГ значительно осложняют строительство. Данная статья – это краткий обзор проекта, проблем, с которыми приходится сталкиваться и путей их решения.

Резервуары, строящиеся на Сахалине

В течение последнего десятилетия наметилась тенденция строительства сверхбольших резервуаров СПГ. Это объясняется необходимостью достижения максимального экономического эффекта. Сегодня, как правило, строятся резервуары объемом 100000 м³ или больше. Основанная на законах физики конструкция исключает повышение температуры внутри резервуара. Благодаря автоматическому охлаждению температура СПГ остается постоянной во время выброса паров.

Учитывая то, что ранее резервуары СПГ в России не строились, здесь не было норм проектирования и строительства таких сооружений. Успех проекта во многом зависел от умелого сочетания опыта проектирования и строительства резервуаров СПГ с опытом работы в России в условиях сурового российского климата. Под руководством заказчика проекта Сахалин II - компании Сахалин Энерджи Инвестмент Ко. – для строительства резервуаров СПГ, были разработаны Специальные Технические Условия по Проекту (СТУП). СТУП определили особые технические требования к типам резервуаров, конструкционным материалам, и т.п. Затем Сахалин Энерджи Инвестмент Ко направила данный документ на утверждение в Российские федеральные компетентные органы. После утверждения СТУП, подрядчик, выигравший тендер должен был разработать рабочий проект и технические требования, с подробным описанием технологии и методов строительства резервуаров. При разработке такой рабочей документации важно было обеспечить соблюдение требований заказчика, СТУП, утвержденных на федеральном уровне, и всех требований соответствующих российских государственных норм.

Компания CB&I, специализирующаяся на проектировании, МТО и строительстве, и ранее выполняла такие работы в России. Помимо этого CB&I имеет богатый опыт в области строительства сооружений СПГ. Совместно с генеральным подрядчиком по проекту - консорциумом в составе компаний Chiyoda, Toyo Engineering и НИПИгазпереработка - CB&I отвечает за проектирование и строительство резервуаров СПГ.

В первую очередь нужно было разработать техническую документацию на резервуары в соответствии с требованиями заказчика и российских норм. Затем были привлечены российские проектные институты для проверки соответствия технического

On the remote island of Sakhalin, construction of the first Liquefied Natural Gas (LNG) facility to be built in Russia is underway. Sakhalin II, which has become known as the project of many firsts, is paving the way for additional Russian LNG projects that will follow.

Because of the remote location, the harsh climate, the level of seismic activity and the absence of national codes for LNG structures, the construction of LNG facilities on Sakhalin presents a number of challenges. A look at one of these projects — the construction of two LNG storage tanks with a capacity of 100,000 m³ each — provides an opportunity to examine how some of these challenges were met.

The Sakhalin Tanks

Over the past decade, LNG storage tanks have been increasing in size to capture economies of scale. Today's LNG storage tank typically has 100,000 m³ or more of capacity and is designed to facilitate a process that works with the laws of physics to keep the temperature inside the tank from warming. The process, called autorefrigeration, keeps the temperature of LNG constant through LNG vapor release.

Because LNG storage tanks have never before been built in Russia, codes that regulate the design and construction of these facilities did not exist. For this project to proceed smoothly, it was important to combine experience in the design and construction of LNG projects with experience in Russian construction, climate and, especially, business practices. Sakhalin Energy Investment Company Ltd., the owner of the Sakhalin II project, took the lead in developing the overall Project Specific Technical Specification for the LNG tanks, a document that provided the specifics for what kind of tanks would be built, what materials would be used, etc. They then took this document to the Russian federal government to obtain the necessary approvals. Once the federal government approved the document, it was the responsibility of the contractor awarded the job to develop the detailed design and technical specifications that provided the in-depth processes and procedures for how the tanks would be constructed. It was important in developing this detailed documentation to ensure that it conformed to the owner's requirements, the Project Specific Technical Specification approved by the Federal Authorities, and all applicable Russian National Standards.

CB&I, an engineering, procurement and construction (EPC) company that had previously conducted EPC work in Russia, also has extensive experience working with LNG facilities. The company, along with the project's general contractor—the consortium of Chiyoda, Toyo Engineering, and NIPigasprerabotka—was responsible for the design and construction of the LNG tanks.

The first step was to develop technical documentation for LNG tanks that met all the criteria requested by the owner as well as Russian requirements. Next, Russian Design Institutes were asked to review it for specific design criteria to ensure that it complied with Russian regulations and standards. It incorporated worldwide knowledge and best practices for LNG tanks while also complying with all the standards for steel and concrete structures that have evolved within the Russian construction industry.

проектирования требованиям Российских норм и стандартов. Эта работа требовала знания принятой мировой практики в области СПГ, а также всех стандартов на металлоконструкции и бетонные сооружения, действующие в строительной индустрии России.

Поскольку согласования являются важной составляющей планирования проекта, эта работа была учтена в рамках общего графика. Проект прошел согласование на федеральном уровне в установленные для этого этапа сроки, и в феврале 2004 года было получено разрешение приступить к строительству. После утверждения проекта требовалось подготовиться к строительству, т.е. получить разрешения, необходимые для начала работ по проекту, а также визы и разрешения на работу для персонала, который мог потребоваться на площадке в случае отсутствия местных специалистов нужной квалификации.

Подготовка к строительству

Учитывая удаленность региона, суровые климатические условия и отсутствие инфраструктуры, успех проекта во многом зависел от правильного планирования. Остров Сахалин находится на Дальнем Востоке России, там, где материковая часть России омывается водами Тихого Океана (см. **рис. 1**). Располагаясь в южной части Охотского моря, примерно в 40 км к северу от Японии, остров Сахалин имеет протяженность 950 км, а его максимальная ширина составляет 160 км. Этот регион характеризуется суровым климатом и высокой сейсмической активностью. Площадкой для отгрузочного терминала Сахалин II был выбран залив Анива, поскольку благодаря глубоководности залив и береговая линия не замерзают в зимний период, обеспечивая круглогодичный прием судов СПГ.

В плане проекта были предусмотрены методы, обеспечивающие его бесперебойность в неизбежные периоды неблагоприятных погодных условий и своевременное выполнение работ в течение всего года. Ближайший город, порт Корсаков, находится в 17 км от строительной площадки и соединен с ней единственной гравийной дорогой. Недалеко от порта Корсакова расположен поселок Пригородное. Из-за полного отсутствия какой-либо инфраструктуры в районе строительства, все оборудование приходилось закупать в других регионах и доставлять на площадку морем. Учитывая длительные сроки поставки материалов и оборудования и их растаможивания, пришлось предусмотреть меры на случай сбоев в поставках или срочной потребности в запчастях. Нужно было построить жилой городок для рабочих, а также создать условия для обеспечения их питанием. И, наконец, прежде, чем приступить к строительству, необходимо было нанять персонал, привезти его на площадку и дать ему обустроиться.

Перед началом строительства нужно было создать вспомогательную инфраструктуру. Для обеспечения строительства резервуаров бетоном были построены два бетонных завода производительностью 65 м³/час. Не смотря на то что на протяжении большей части проекта достаточно было бы одного такого завода, временами потребность в бетоне была выше, чем мощность одного завода. Бетон был нужен не только для строительства оснований, стенок и крыш резервуаров, но и для производства наполнителя для укрепления грунтов. Кроме этого, строительство второго завода давало дополнительные гарантии - ведь приобрести бетон поблизости и доставить его на площадку по приемлемой для проекта цене было практически невозможно. Это была лишь одна из многих мер, заранее предусмотренных в проекте на случай возможных сбоев.

Работы нулевого цикла, включая подготовку площадки, выемку грунта, засыпку траншей бетонным наполнителем и строительство перекрытий были поручены местной российской компании, имевшей богатый опыт строительства в климатических условиях Сахалина. Сотрудничество специалистов СВ&I, имеющих опыт работы в области СПГ, с российскими специалистами, имеющими навыки работы в местных условиях, сыграло большую роль в обеспечении успеха проекта. ►►

Realizing that the approval process was on the critical path for scheduling this project, the activity required to complete this process was planned and coordinated as part of the overall project schedule. The project received approval from the federal government to proceed with the tank construction in February 2004, well within the timeframe that had been planned for this phase of the project. Once this federal approval was given, it was then necessary to prepare for the construction phase that would follow, including the need to obtain the permits required to proceed with the project, as well as visas and work permits for personnel needed on site when specific skills sets were not available locally.

Building Preparation

Because of the remote location, its lack of infrastructure, and the cold winters, the planning of this project was critical to its success. Sakhalin Island is located in the far eastern part of Russia, where the land mass ends at the Pacific Ocean (see **Figure 1**). In the southern portion of the Sea of Okhotsk, approximately 40 km north of Japan, Sakhalin Island is roughly 950 km long and peaks at 160 km wide. The climate on the island is harsh and the area is seismically active. Aniva Bay was selected ►►



Рис. 1: Карта о-ва Сахалин
Figure 1: Map of Sakhalin

Конструкция резервуаров

Строящиеся на Сахалине резервуары СПГ – резервуары двухоболочечного типа. Они состоят из внутреннего и внешнего резервуаров, каждый из которых способен самостоятельно удерживать находящийся в них СПГ. Кольцевое пространство между внутренним и внешним резервуаром составляет 1- 2 м (см. **рис. 2**). Внешний резервуар служит не только для удержания жидкости, но и для регулируемого выброса паров, являясь первичной системой удержания паров. Это играет большую роль в обеспечении эффективного автоматического охлаждения. На случай нарастания давления внутри резервуара предусмотрены предохранительные клапаны. Внутренние резервуары изготавливаются из стали с 9%-ным содержанием никеля, отличающейся высокой упругостью, необходимой для хранения криогенных жидкостей. Внешний резервуар представляет собой бетонное сооружение, состоящее из железобетонной фундаментной плиты (см. **рис. 3**), стенки из преднапряженного бетона и железобетонной крыши. Расчетная температура хранения СПГ составляет -165°C .

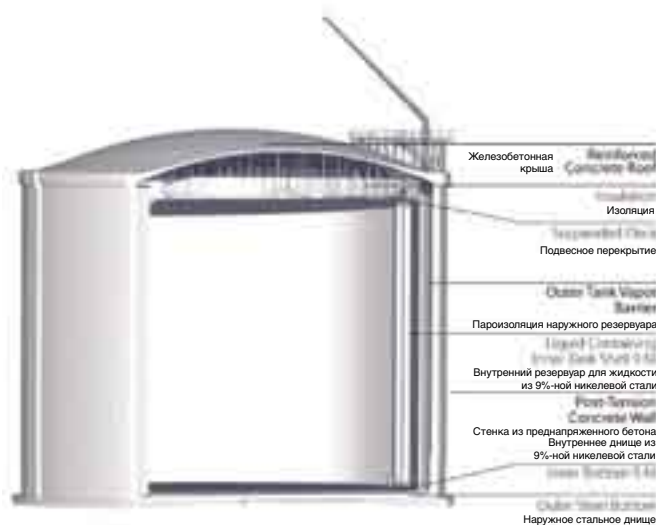


Рис. 2: Схема герметичного двухоболочечного резервуара СПГ
Figure 2: Schematic of a Full Containment LNG Tank

Бетонные работы имеют огромное значение при строительстве сооружений СПГ. Учитывая суровый климат Сахалина, была разработана новаторская методика, позволяющая снизить зависимость проекта строительства резервуаров от хода бетонных работ и решить проблему отверждения бетона в условиях влажности или экстремально низких температур. В результате благодаря тому, что задержки в выполнении большого объема бетонных работ по метеоусловиям были сведены к минимуму, новая методика обеспечила соблюдение намеченных сроков. Кроме того, правильное планирование позволило выполнять строительные работы в течение всего года, а бетонные – в более теплые месяцы.

Конструкция резервуаров должна обеспечивать поддержание СПГ в холодном состоянии. Но при этом необходимо принять меры по предотвращению замерзания земли под резервуарами. Хотя резервуары устанавливаются ниже линии промерзания, для чего выполняются специальные земляные работы, под действием СПГ земля под резервуарами может заморозиться. Это в свою очередь может вызвать вспучивание почвы и создать угрозу повреждения фундаментов. Поэтому для согревания земли под резервуарами было установлено оборудование для подогрева фундаментов. Строительство

В настоящее время резервуары СПГ проекта Сахалин II находятся в стадии строительства. Согласно принятой в ►►

for the Sakhalin II export facility because the water gets deep quickly, keeping the bay and shoreline relatively ice-free during the winter and therefore ensuring year-round access for LNG carriers.

Planning the project included a determination of how to successfully work around inevitable weather delays so that the project would be able to proceed on schedule throughout the year. The nearest town, the Port of Korsakov, is 17 km from the site, with only a gravel road connecting the site to the port. The settlement of Prigorodnoye is located a short distance beyond Korsakov. With no infrastructure nearby, all of the equipment had to be obtained from other places and shipped to the site. And, because of the long lead time to get materials and equipment flown in and cleared through customs, contingencies had to be developed for potential malfunctions and urgently needed replacement parts. A camp had to be built to provide accommodation for the crew and arrangements had to be made for obtaining and preparing daily meals. Finally, the crew had to be hired, transported to the site and settled before the construction could commence.

The first order of business for the construction activity was to address various infrastructure needs. Two 65 m³/hour concrete batching plants were erected to provide all of the concrete needed for the tanks. While one plant would have been sufficient during most of the project, at times the volume needed would exceed the capacity of a single plant. Not only was it necessary to provide enough concrete for the base slabs, the tank walls and the roofs, but concrete was also needed to create filler material to reinforce the soil.

Additionally, building a second batch plant provided a back-up facility, since concrete could not be purchased in neighboring areas and transported to the site in any way that was cost-effective for the project. This was just one of the many contingencies that was developed to plan in advance for outages that might occur.

The civil work, including site preparation, excavation, replacement of soil by lean concrete filler material, and slab construction, was subcontracted to a local Russian company. This crew had extensive experience not only working within the Russian construction industry, but also working in the weather conditions experienced on Sakhalin. The partnership between CB&I employees with LNG experience and the Russian crew with local experience was deemed to be a vital component in developing the synergies necessary to make this project successful.

Tank Design

The Sakhalin tanks are full containment LNG tanks. Full containment tanks are built with an inner and an outer tank that are both capable of independently containing the stored LNG, separated by a meter or two of space (see **Figure 2**). In addition to providing a secondary liquid containment, the outer tank also provides controlled release of the vapor, making it the primary vapor containment system. This is important for the autorefrigeration process to work effectively. Relief valves are provided to release gas in the event that pressure builds up inside the tank. The inner tanks are constructed from 9% nickel steel, which is a highly resilient material for storing cryogenic fluids. The outer tank is a concrete structure, consisting of a reinforced concrete floor slab (see **Figure 3**), a pre-stressed concrete wall, and a reinforced concrete roof. The LNG storage design temperature is -165°C .

On most LNG tank projects, the concrete work is on the critical path. However, since Sakhalin's climate is so harsh, an innovative technique was developed to actually take the concrete work off the critical path for the Sakhalin tanks and avoid the difficulties associated with curing concrete in wet or extremely cold conditions. This enabled the project to stay on schedule because the number of weather delays associated with large amounts of concrete work was reduced. Also as a result of this plan, the construction work was able to move forward throughout the year, while the concrete work was performed in the warmer months, as conditions permitted.

In addition to designing the tank to keep the LNG cold, it was also necessary to include in the design a means to prevent the LNG in the tanks from freezing the earth beneath it. Even though the tanks were being built below the frost line due to the excavation, the LNG in the ►►



ALIAS
piping solutions

Программный материал для:

- Изометрическое проектирование трубопроводов
- Планировка заводских трубопроводов
- Дизайн трубопроводов
- Сооружение и производство трубопроводов.

Фирма ALIAS сделает это для Вас.

Для более подробной информации:

visit www.alias.ltd.uk

or email info@alias.ltd.uk

for more information



ISOGEN

I-Sketch

SPOOLGEN

PLS Router



Alias Limited, 1 Stuart Road, Manor Park, Runcorn, Cheshire. WA7 1TS. UK.

Telephone: +44 (0) 1928 579311. FAX: +44 (0) 1928 579389

Alias Limited, 433 SE 13th Avenue, Portland, OR 97214 Toll Free: 0800-359-0474



Рис. 3: Бетонирование фундаментной плиты резервуара СПГ на о-ве Сахалин
Figure 3: Pouring the slab for an LNG tank on Sakhalin

В России строительные работы ведутся под надзором заказчика, а также государственных и местных надзорных органов. Для обеспечения соблюдения требований всех местных и государственных норм и правил в процессе строительства задействованы российские проектные институты. В 2006 году строительные работы будут выполняться в течение всего года и должны быть закончены в конце весны 2007 года.

Работы ведутся попеременно то на одном, то на другом резервуаре и таким образом достигается максимально эффективное использование специальных навыков строительных рабочих. Такая методика позволяет использовать ресурсы там, где они больше всего необходимы, обеспечить оптимальные сроки, а также сократить потребность в оборудовании и эффективно использовать труд инженерно-технических работников. Для каждого резервуара предусматривается по 2 стационарных башенных крана, а также пять дополнительных кранов для выполнения строительных работ.

Технике безопасности в строительстве всегда уделяется первостепенное значение. В нашем случае помимо традиционных мер по обеспечению безопасности в строительстве и проведения соответствующего обучения, персонал обучается методам безопасной работы в условиях экстремально холодного климата. Основная часть специалистов уже работала в России или в иных регионах мира с подобным климатом, что значительно облегчает задачу. По возможности, обеспечивается максимальное укрытие рабочих площадок, для защиты от порывов ветра применяется брезент и оцинкованная листовая сталь. Кроме того, принимаются меры по предотвращению обледенения резервуаров, оборудования и площадок обслуживания. После завершения монтажа стального резервуара он сам становится средством защиты персонала от воздействия погодных условий. Нами закуплена специальная зимняя одежда, рассчитанная именно на такие условия работы. Благодаря правильной экипировке, соответствующему обучению и надлежащему руководству, а также специальной методике ►►

tanks could potentially cool the earth enough to freeze it, expanding the soil mixture and compromising the tank foundations. To prevent this, foundation heaters were placed below the tanks to provide a constant source of heat to the earth beneath.

Construction Activity

The Sakhalin II LNG tanks are currently under construction (see **Figure 5**). In Russia, the owner and the state and local governments provide oversight for construction activities. Russian Design Institutes have been engaged to ensure compliance with all local and state regulations throughout the construction of the tanks. Construction will take place year round and is scheduled to continue through the spring of 2007.

Work on the tanks alternates from one tank to the other, so that specific skills sets on the part of various crewmembers can be used most effectively. This technique allows the resources to be used where they are most needed, optimizing production time, and it also reduces equipment needs and allows for efficient use of supervisory personnel. Each tank has two stationary tower cranes in place, and five additional cranes are available to support the construction activities.

Safety will be at the forefront of the construction effort, as always. In this case, in addition to the usual construction safety safeguards and training, the crew will be trained to work safely in extremely cold weather. Most of the crew has experience working in Russia or in other regions in the world with a similar climate, which will greatly aid this effort. Work areas will be enclosed as much as possible, and tarpaulins/galvanized sheeting will be used to serve as a barrier, providing protection from the wind. Procedures to prevent ice build up on tanks and equipment along with keeping walking surfaces free of ice will also be implemented. As the steel liner was erected, it provided a weather barricade to protect the crew from the elements. Winter weather gear specifically designed for this type of activity was purchased. With the appropriate clothing, training, and supervision ►►

Специализация на Нефти и Газе, Энергетике и местах по всему миру. Благодаря объединению нескольких проектов по каждому маршруту, расходы поездки для каждого клиента сведены к минимуму. В виде каталога фотографий имеется бесплатный CD-диск с более чем 2200 фотографиями. Посетите также мой новый Веб-Сайт "larrylee.com" чтобы просмотреть другие образцы моих фотографий. Благодарю.





Рис. 4: Геометрия внутреннего резервуара и изоляции
Figure 4: Inner Tank and Insulation Geometry

строительства, позволяющей решить проблему выполнения бетонных работ, удалось добиться того, что климатические условия Сахалина не помешали ходу работ и позволили благополучно вести строительство в течение всего зимнего периода.

Предпосылки успеха

Ключом к успешному выполнению проекта, включающего в себя проектирование, поставку оборудования и материалов и строительство в России, является наличие у нас глобальных и местных ресурсов. При строительстве этих уникальных для России сооружений хранения СПГ компании CB&I использует свой большой опыт строительства подобных объектов в других регионах мира и делится с Россией знаниями, которых до настоящего времени не было в стране. С другой стороны местные строительные подрядчики и российские проектные институты обладают значительным опытом и навыками, необходимыми для работы в России. Подобная кооперация создает условия для строительства сооружений, отвечающих критериям мировой практики в области СПГ и передовой практики Российской строительной индустрии.

Фундаменты резервуаров СПГ были заложены в мае 2004 года. В настоящее время работы идут в соответствии с графиком, согласно которому резервуары должны быть готовы к весне 2007 года. Начало отгрузки СПГ намечено на ноябрь 2007 года. С этого момента Россия впервые приступит к производству СПГ и начнет экспортировать часть своих богатейших запасов природного газа в страны Азиатско-Тихоокеанского региона, Северную Америку и Мексику. ■

— as well as a construction technique that takes the concrete work off the critical path — the climate conditions on Sakhalin have not unduly hindered the construction progress, allowing construction activities to continue safely throughout the winter.

Paving the Way

The key to a successful engineering, procurement and construction project in Russia is the ability for a contractor to be global and local at the same time. Global experience with projects such as LNG facilities that have not been previously built in Russia provides valuable knowledge and expertise not available in the country. Local resources, such as construction subcontractors and Russian Design Institutes, provide essential expertise and skill sets needed for doing business in Russia. Together, these elements create the framework for developing designs that combine the best practices of the LNG industry worldwide with the best practices of the Russian construction industry.

The slab construction for the LNG tanks started in May 2004, and the project is on schedule to complete the tank construction by the spring of 2007. LNG cargo is scheduled to be loaded in November 2007, as Russia for the first time produces LNG and begins to export some of its vast natural gas resources to Asia Pacific, North America, and Mexico. ■