



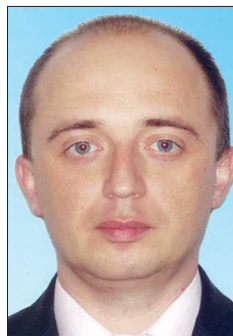
Yevstakhiy I. Kryzhanovskiy
Крыжановский
Евстахий
Иванович



Oleg G. Dzeba
Дзеба
Олег
Григорьевич



Vladimir V. Zaytsev
Зайцев
Владимир
Васильевич



Valeriy V. Zaytsev
Зайцев
Валерий
Владимирович



Andrey P. Dzhus
Джус
Андрей
Петрович



Aleksandr M. Susak
Сусак
Александр
Михайлович

УДК 622.691
С 91

CURRENT PREREQUISITES AND ECONOMIC EXPEDIENCY OF CNG-TECHNOLOGIES IMPLEMENTATION IN BLACK SEA

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ CNG-ТЕХНОЛОГИЙ НА ЧЕРНОМ МОРЕ

DOI 10.15589/SMI20140209

Yevstakhiy I. Kryzhanovskiy

Е. И. Крыжановский, д-р техн. наук, проф.¹
rector@nung.edu.ua

ORC ID: 0000-0003-2501-4874

Oleg G. Dzeba

О. Г. Дзеба, д-р техн. наук¹

ipo@nung.edu.ua

ORC ID: 0000-0001-5172-1965

Vladimir V. Zaytsev

В. В. Зайцев, д-р техн. наук, проф.²

vladymyr.zaitsev@nuos.edu.ua

ORC ID: 0000-0002-3637-9273

Valeriy V. Zaytsev

Вал. В. Зайцев, д-р техн. наук, доц.²

valery.zaytsev@nuos.edu.ua

ORC ID: 0000-0002-8590-5671

Andrey P. Dzhus

А. П. Джус, канд. техн. наук¹

andriy_dzhus@i.ua

ORC ID: 0000-0002-0859-0979

Aleksandr M. Susak

А. М. Сусак, канд. техн. наук¹

susak52@gmail.com

ORC ID: 0000-0002-5359-8769

¹ *Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk*

² *Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev*

¹ *Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск*

² *Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев*

Abstract. The possibility and expediency of application of the compressed natural gas transportation technology for its transportation to the shore terminals has been considered in the connection to the Black Sea shelf. The aim of research is to analyze the prerequisites and detail the concept of construction of the offshore natural gas output and transportation system and prove the economic expediency of the CNG-technology to transport the gas from the Black Sea offshore deposit to the shore terminals. It is established that the approximate distance of the gas transportation through the offshore zones does not exceed 100...120 km for the majority of the identified deposits. The research results can be applied to design

the self-propelled and non-self-propelled CNG-ships. The obtained results of the analysis of technical and economic conditions of the CNG-technology application for the natural gas transportation from the Black Sea offshore deposits, as well as the obtained results during the preliminary technical and economic justification demonstrate the technical and economic expediency of the practical application of the CNG-technology.

Keywords: compressed natural gas, movable pipeline, gas pipeline, barge, well.

Аннотация. Рассмотрены возможность и целесообразность применения для шельфа Черного моря технологии транспортировки сжатого природного газа для доставки его к береговым терминалам. Доказана актуальность такой транспортировки при необходимости быстрого освоения добытого природного газа из недавно пробуренных газовых скважин.

Ключевые слова: сжатый природный газ, подвижный трубопровод, газопровод, баржа, скважина.

Анотація. Розглянуто можливість і доцільність застосування для шельфу Чорного моря технології транспортування стисненого природного газу для доставки його до берегових терміналів. Доведено актуальність такого транспортування при необхідності швидкого освоєння видобутого природного газу з недавно пробурених газових свердловин.

Ключові слова: стиснений природний газ, рухомий трубопровід, газопровід, баржа, свердловина.

References

Kryzhanivskiy Ye.I., Zaitsev V.V., Romanovskiy H.F., Karpash O.M., Honcharuk M.I., Zaitsev D.V., Zaitsev Val. V. *Sposib transportuvannya stysnutoho pryrodnoho hazu* [Method of the compressed natural gas transportation] Patent UA, no. u200804626, 2008.

Kryzhanivskiy Ye.I., Zaitsev V.V., Zaitsev Val.V., Zaitsev D.V. *Transportnyi CNG-modul* [The transport CNG-module] Patent UA, no. u 200903995, 2009.

Kryzhanivskiy Ye.I., Zaitsev V.V., Zaitsev Val.V., Zaitsev D.V. *Sposib morskoho transportuvannya stysnutoho pryrodnoho hazu v CNG-moduliakh* [Method of compressed natural gas sea transportation in the CNG-modules] Patent UA, no. u 200903996, 2009.

Paton B. Ye., Kryzhanivskiy Ye.I., Savytskyi M.M., Shvydkyi E.A., Zaitsev V.V., Mandryk O.M. *Sposib transportuvannya stysnutoho pryrodnoho hazu rukhomym truboprovodom* [Method of compressed natural gas transportation by means of movable pipeline] Patent UA, no. u 201114580, 2012.

Paton B. Ye., Kryzhanivskiy Ye.I., Savytskyi M.M., Piatnychko O.I., Zaitsev V.V., Mandryk O.M. *Barzhaplit dlia transportuvannya stysnutoho pryrodnoho hazu* [The barge-raft for the compressed natural gas transportation] Patent UA, no. u 201113979, 2012.

Kryzhanivskiy Ye.I., Dzoba O.H., Dzhus A.P., Mironov Yu.V. *Tekhniko-ekonomichni aspekty transportuvannya pryrodnoho hazu iz morskikh rodovyshch* [Technical and economic aspects of the natural gas transportation from offshore deposits]. *Naukovyi visnyk Ivano-Frankivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu* [Scientific Bulletin of the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas], 2013, no. 2, issue 35, pp. 7–15.

Hozhyk P.F., Yevdoshchuk M.I., Stavitskiy Ye.A., Hladun V.V., Halko T.M., Polukhtovych B.M., Proskuriakov O.A., Zakharchuk S.M., Verkhovtsev V.H., Klochko V.P., Maksymchuk P.Ya., Dovzhok T.Ye., Fedun O.M., Kolodii E.O., Kolodii I.V., Sedlerova O.V., Koval A.M., Pakholok O.V., Melnychuk P.M., Danylevych V.Ya., Fedyshyn A.I., Tarkovska V.A., Tkachenko A.I., Volkova O.V., Romaniuk V.A., Varkholiak L.A. *Naftohazoperspektyvni obiekty Ukrainy. Naukovi i praktychni osnovy poshukiv rodovyshch vuhlevodniv v ukrainskomu sektori Prykerchenskoho shelfu Chornoho moria* [Oil and gas prospective targets in Ukraine. Scientific and practical foundations of search of hydrocarbon deposits in the Ukrainian sector of the Prikerchenskiy shelf]. Kyiv, Edelveis Publ., 2011. 440 p.

Problem statement. Development of gas production fields of the deepwater shelf of the Black Sea requires solving a number of technical and technological issues, one of which is the problem of natural gas transportation to the shore terminals. Currently considering the dynamics of natural gas cost growth which reaches the level that allows providing commercial development of shelf fields, it becomes especially urgent. Apart from existing traditional technologies of sea gas transportation via underwater pipelines and liquefied natural gas carriers (Liquefied Natural Gas — LNG), the technology of compressed natural gas sea transportation is potentially prospective (Compressed Natural Gas — CNG).

Постановка проблемы. Освоение и ввод в эксплуатацию газовых месторождений глубоководного шельфа Черного моря требует решения ряда технических и технологических проблем, одной из которых является проблема транспортировки природного газа к береговым терминалам. На сегодняшний день при учете динамики роста цен на природный газ, достигших уровня, который позволяет обеспечить рентабельную разработку шельфовых месторождений, она становится особенно актуальной. Кроме существующих традиционных технологий морской транспортировки газа подводными трубопроводами или газовозами в сжиженном состоянии (Liquefied Natural Gas — LNG), потенциально перспективной является технология морской транспортировки

The growing interest of scientists to the issues of developing the CNG technology and technical means of its implementation is explained by potential advantages: possibility to load natural gas into the tanks on the board of a CNG ship directly from the shelf field and unload into the gas pipeline or gas network onshore. It significantly decreases capital investment and transportation cost in comparison to developing the system of underwater gas pipelines, especially in the deep water or LNG plants and ships. Thus, the attention should be paid to the development of the CNG technology for commercial production of shelf natural gas fields.

Apart from that, the economical aspect of this issue is important because the development of the CNG technology and forming the park of gas carriers on its basis allows optimizing the logistic processes of shelf natural gas transportation, increasing the diversification level of gas supply to specific regional markets.

Analysis of latest research and publications. The main system of a CNG ship is a cargo-piping system with the tanks for pressurized gas transportation. The first attempts of practical implementation of this technology were made in the USA in the 1960s. However, high specific metal quantity and the weight of high-pressure gas cylinders ($\sim 2 \text{ t/m}^3$ of available storage) as well as correlation of natural gas, metal and other resources prices existing at that time did not provide an opportunity to reach the economic efficiency of transportation and, thus, there was no interest in developing and using the CNG technology.

Currently we can observe actions in developing the key components of the CNG technology in different states of the world. Within the last 10–15 years several famous foreign companies developed concept projects of CNG ships which differ in the structural scheme of the cargo system. In particular, the specialists of the TransCanada Pipeline company offered a variant of a gas carrier with horizontal cylinders made of a gas pipe reinforced with the fiber glass composite material. There are technical solutions of some companies, for example EnerSea Transport and TransOcean which offer to locate the cargo cylinders in special airproof cooled modules in order to decrease the mass of these cylinders.

There is another interesting solution offered by Sea NG: production of the cargo tank in a form of a long pipe winded in a special coil. It decreases the safety coefficient for the cylinders from 2,5 to 1,7. Such projects are being actively developed in the Russian Federation especially for Arctic transportation.

However, these developments do not have practical implementation, though in due time there were expectations about the possibility to build CNG ships in Norway, North Korea and the Russian Federation in 2011–2012.

сжатого природного газа (Compressed Natural Gas — CNG) на специальных судах. Возросший интерес ученых к вопросам разработки технологии CNG и технических средств ее реализации обусловлен потенциальными преимуществами, которые заключаются в возможности загрузки природного газа в емкости на борту судна CNG непосредственно с шельфового месторождения и разгрузки в газопровод или газовую сеть на суше. Это значительно уменьшает капитальные вложения и себестоимость транспортировки по сравнению с созданием системы подводных газопроводов, особенно на глубоководных участках, или заводов по сжижению газа и судов LNG. Поэтому наибольшие усилия необходимо сосредоточить на разработке технологии CNG, в основном для ввода в коммерческий оборот шельфовых морских месторождений природного газа.

Кроме того, важен и экономический аспект этой проблемы, поскольку развитие технологии CNG и создание на ее основе парка судов-газовозов различной емкости позволит оптимизировать логистические процессы перевозок природного газа шельфовых месторождений, будет способствовать росту уровня диверсификации поставок газа на отдельные региональные рынки.

Анализ исследований и публикаций по проблеме. Основной системой судна CNG является грузовая система с емкостями для перевозки газа под давлением. Первые попытки практической реализации этой технологии были осуществлены в США еще в 1960-е годы. Однако высокая металлоемкость и вес газовых баллонов высокого давления ($\sim 2 \text{ т/м}^3$ полезного объема), а также существующее в то время соотношение цен на природный газ, металл и другие ресурсы не способствовали достижению экономической эффективности перевозок и, соответственно, вызвали падение интереса к разработке и использованию технологии CNG.

В настоящее время наблюдается активизация деятельности по разработке ключевых компонентов технологии CNG в разных странах мира. Так, на протяжении последних 10–15 лет ряд известных зарубежных компаний разработали концептуальные проекты судов CNG, которые отличаются прежде всего конструктивным решением грузовой системы. В частности, специалисты фирмы «TransCanada Pipeline» предложили вариант газовоза с горизонтальными баллонами, изготовленными из газовой трубы, упрочненной стекловолоконным композиционным материалом. Известны технические решения отдельных компаний, например «EnerSea Transport» и «TransOcean», которые предлагают для снижения массы грузовых баллонов располагать последние в специальных герметичных охлаждаемых модулях. Интересным представляется и концептуальное решение, предложенное фирмой «Sea NG», суть которого заключается в изготовлении грузовой емкости в виде длинномерной трубы, намотанной в специальную бухту в форме катушки. Это позволяет уменьшить коэффициент запаса прочности для баллонов с 2,5

In comparison to the stipulated developments, to meet the demands on gas transportation via the sea the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG) together with the Admiral Makarov National University of Shipbuilding (NUS) and the Paton Electric Welding Institute (EWI) offered the technology of compressed natural gas transportation on typical container ships due to the development of the cargo system in a form of separate cargo sections so that each of them corresponds to the standard 20- or 40-foot sea container in geometry [1–3].

Such constructive solution allows avoiding the necessity to build or buy special CNG ships. The main object for investment in this technology is a CNG module on the basis of a sea container.

The offered CNG-module with a high-pressured long pipe for compressed natural gas transportation (Fig. 1) consists of a standard 40-foot open-type sea container where there is a high-pressured tank in a form of a special coil on the footing. The coil consists of sequentially connected straight or curved pipe sections. The coil is fixed to the body of the CNG-module securely using special locks.

CNG-modules connected with linear fittings into the blocks are placed in the holds or on the deck.

A container ship equipped with CNG-modules with the deadweight up to 70 thous. tones can transport 12 mln m³ gas within a voyage. This allows using such container ships for transportation of significant gas volumes (5 bln m³ per year and more).

For smaller transportation volumes and during transportation in inner water areas to short distances special barges and barges fleet are recommended to be used. In this case the structure of the CNG-modules is not restricted by the dimensions of a standard container. In par-

до 1,7. Подобные проекты в настоящее время активно разрабатываются и в Российской Федерации, особенно для арктических перевозок.

Однако пока эти разработки не имеют практического воплощения, хотя в свое время публиковались прогнозы относительно возможности постройки CNG-газовозов в Норвегии, Южной Корее и Российской Федерации уже в 2011–2012 годах.

В отличие от приведенных разработок, для нужд перевозки газа через морские территории Ивано-Франковским национальным техническим университетом нефти и газа (ИФНТУНГ) совместно с Национальным университетом кораблестроения имени адмирала Макарова (НУК) и Институтом электросварки имени Е. О. Патона (ИЭ) предложена технология транспортировки сжатого природного газа на типичных судах-контейнеровозах за счет создания грузовой системы в виде отдельных грузовых отсеков, каждый из которых по своим геометрическим габаритам соответствует стандартному 20- или 40-футовому морскому контейнеру [1–3].

Такое конструктивное решение позволяет избежать необходимости строительства или приобретения специализированных судов-газовозов CNG. Основным объектом капиталовложений в данной технологии является CNG-модуль на основе морского контейнера.

Предложенный CNG-модуль с длинномерной трубой высокого давления для транспортировки сжатого природного газа (рис. 1) состоит из стандартного 40-футового морского контейнера открытого типа, в котором на фундаментах находится емкость высокого давления в виде пространственного змеевика, состоящего из последовательно соединенных прямолинейных и криволинейных участков труб. Фиксируют змеевик к корпусу CNG-модуля жестко с помощью специальных фиксаторов. Соединенные прямолинейными фитингами в блоки CNG-модули размещаются в трюме и на палубе.

Оборудованный CNG-модулями контейнеровоз водоизмещением до 70 тыс. т может перевезти за

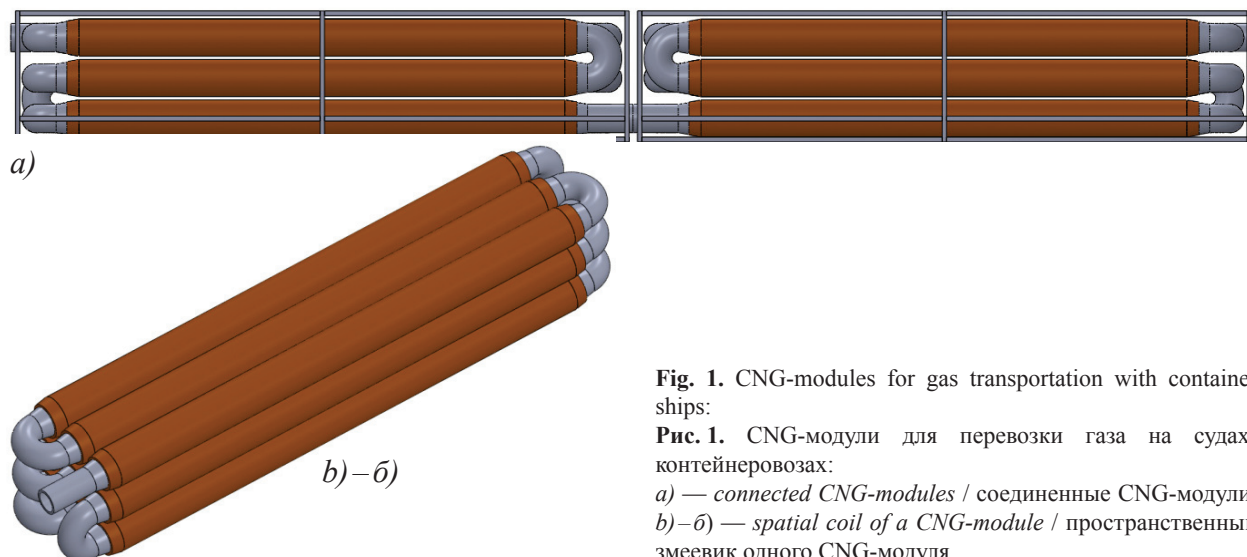


Fig. 1. CNG-modules for gas transportation with container ships:

Рис. 1. CNG-модули для перевозки газа на судах-контейнеровозах:

a) — connected CNG-modules / соединенные CNG-модули;
b)–б) — spatial coil of a CNG-module / пространственный змеевик одного CNG-модуля

ticular, a layout scheme for a long pipeline of standard (720 mm) pipes is developed which is reinforced with proper fiber glass armouring [4, 5].

The results of previous research including the ones made by the IFNTUOG and the NUS prove the prospects of transportation of compressed natural gas through sea water areas using container ships and barges. The report on scientific research work "Transportation of natural gas in the compressed form by the Caspian Sea" made by the IFNTUOG in 2012 shows reasonability of using the CNG-technology when forming a logistic gas transportation chain for natural gas transportation from Turkmenistan to Azerbaidjan over the Caspian Sea with its further piping into the TransCaucasus gas pipeline and transportation to Turkey.

Along with this the issues of technological integration of specific elements of the CNG technology require deeper studying in terms of the complex system for production and transportation of natural gas from shelf fields as well as the ones devoted to feasibility of these systems.

The article aim is the analysis of existing prerequisites and development of the details for the construction concept of the system for production and transportation of natural gas from shelf fields, providing preliminary grounds for economic feasibility and efficiency of the CNG-technology use for gas transportation from shelf fields of the Black Sea to the shore terminals.

Primary material statement. A special feature of the oil and gas power engineering at the beginning of the 21st century is gradual depletion of major and giant fields of natural hydrocarbons and complicity of the conditions of oil and gas production, shifting to the large-scale development of the fields with small resources, increase of the depth of oil and gas production, gradual shift of gas and oil production processes to the zones and shelves difficult to access. This leads to the growth of the first cost of oil and gas production. At the same time these hydrocarbons still play the leading role in the world power engineering, and predictions of the world experts show that within further 30–50 years the part of oil and gas in the energy balance will comprise about 50 %.

At the end of the 1990s – beginning of the 2000s a number of new hydrocarbon fields were opened on the shelf of the Black Sea [6]. At the same time several structures with high prospects were found especially in the zone near Kerch (Prikerchenkiy area). Among them: Glubokaya, Yuzhno-Kerchenskaya, Abikha, Pallas,

один рейс 12 млн м³ газа. Это позволяет использовать такие контейнеровозы для транспортировки значительных объемов газа (5 млрд м³ в год и более).

Для меньших объемов транспортировки, а также при перевозке во внутренних акваториях на сравнительно небольшие расстояния предлагается использование специальных барж и караванов барж. В этом случае конструкция CNG-модулей не ограничивается размерами стандартного контейнера. В частности, разработана схема компоновки длинномерного трубопровода из стандартных (720 мм) труб, усиленных соответствующим стекловолоконным армированием [4, 5].

Результаты предыдущих исследований, в том числе и выполненных в ИФНТУНГ и НУК, свидетельствуют о перспективности транспортировки природного газа в сжатом виде через морские акватории с помощью судов-контейнеровозов и барж. Так, в отчете о научно-исследовательской работе «Транспортировка природного газа в сжатом виде через Каспийское море», выполненной в ИФНТУНГ в 2012 году, доказана целесообразность применения технологии CNG при формировании логистической газотранспортной цепи для транспортировки природного газа от Туркменистана в Азербайджан через Каспийское море с последующей закачкой его в Транскавказский газопровод и транспортировкой к территории Турции.

Вместе с тем дальнейших углубленных исследований требуют вопросы технологического интегрирования отдельных элементов технологии CNG в рамках комплексной системы добычи и транспортировки природного газа шельфовых месторождений и исследования экономической эффективности таких систем.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ — анализ существующих предпосылок и детализация концепции построения системы добычи и транспортировки природного газа шельфовых месторождений, предварительное обоснование экономической целесообразности и эффективности использования технологии CNG для транспортировки газа из шельфовых месторождений Черного моря к береговым терминалам.

Изложение основного материала. Особенностью развития нефтегазовой энергетики в начале XXI века является постепенное истощение крупных и сверхкрупных месторождений природных углеводородов и усложнение условий добычи нефти и газа, переход к массовому освоению небольших по объемам запасов месторождений, увеличение глубин нефтегазодобычи, постепенное перемещение процессов нефтегазодобычи в труднодоступные районы и шельфовые зоны. Все это приводит к росту себестоимости добычи нефти и газа. Вместе с тем эти углеводороды продолжают занимать определяющее место в мировой энергетике, а прогнозы авторитетных мировых энергетических агентств свидетельствуют, что и в течение следующих 30–50 лет доля нефти и газа в энергетическом балансе составит около 50 %.

В конце 1990-х – начале 2000-х годов на шельфе Черного моря был открыт ряд новых углеводородных месторождений [6] и обнаружено несколько высокоперспективных структур, особенно в пределах Прикерчен-

Yakornaya, Moryana, Lychagina, Soyuznaya [7]. The sea depth in the zone near Kerch is 30–500 m and more (Fig. 2).

One of the deterrents for the rapid growth of gas production in terms of the indicated structures is a partially unsolved problem of natural gas transportation onshore.

Thus, a very important task of nearer future is the development of a rational system of sea transportation for maintenance of shelf fields of the Black Sea. This task gets special urgency in terms of the necessity of rapid development and start of produced natural gas transpor-

ского участка. Среди них Глубокая, Южно-Керченская, Абиха, Палласа, Якорная, Моряна, Лычагина, Союзная [7]. Глубина моря в районе Прикерченского участка находится в пределах 30–500 м и более (рис. 2).

Одним из сдерживающих факторов, препятствующих сегодня быстрому наращиванию объемов газодобычи в рамках указанных структур, является частично нерешенный вопрос доставки природного газа на сушу.

Таким образом, важной задачей ближайшего будущего становится создание рациональной системы морской транспортировки для обслуживания шельфовых месторождений Черного моря. Особую

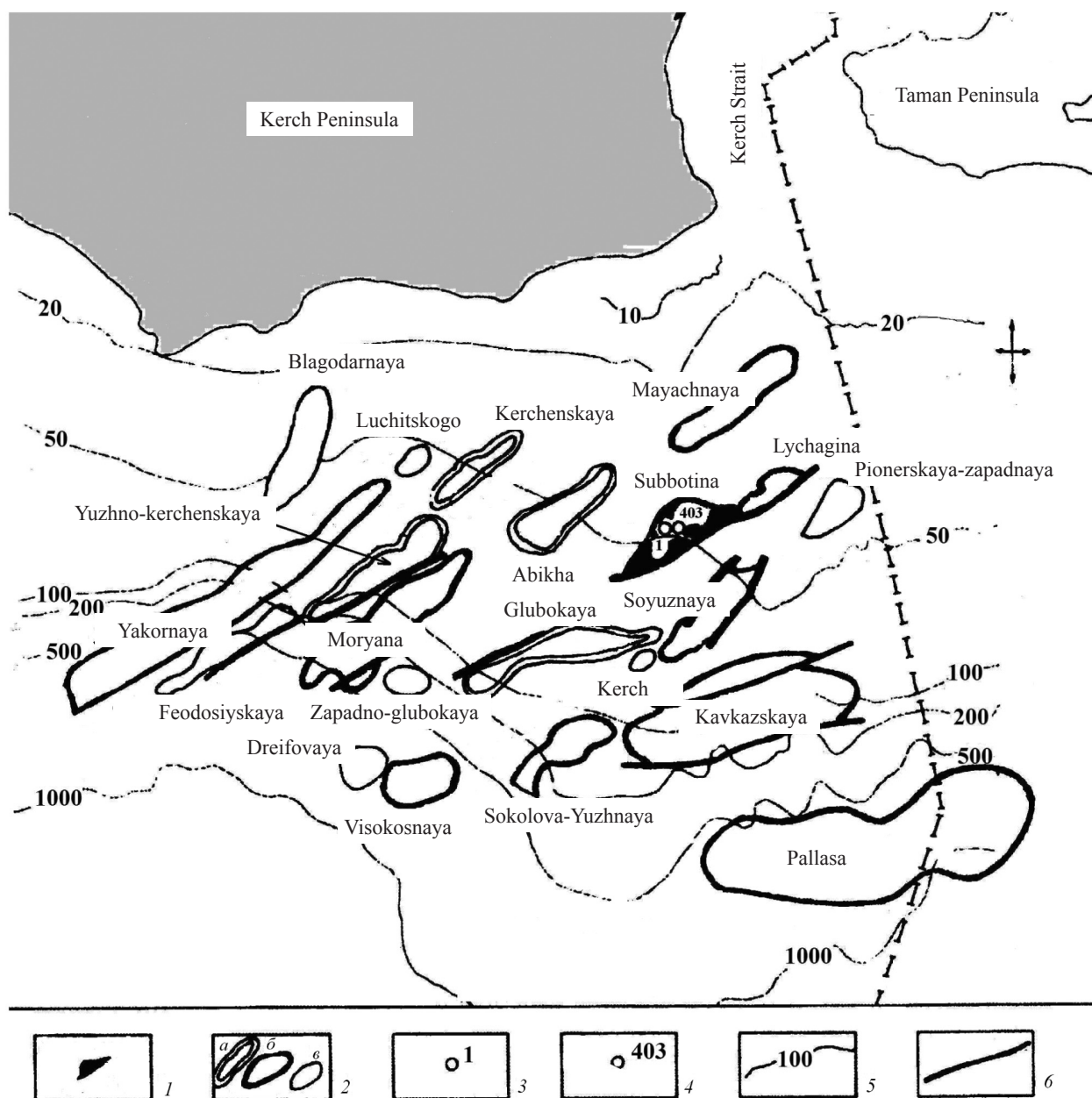


Fig. 2. General map of the Ukrainian sector of the Prikerchenskiy area of the Black Sea:

Рис. 2. Обзорная карта украинского сектора Прикерченского участка Черного моря:

1 — oil and gas fields / месторождения нефти и газа; 2 — oil and gas prospective structures / нефтегазоперспективные структуры: а — prepared for drilling / подготовлены к бурению; б — detected by seismic exploration / обнаружены сейсморазведкой; в — possible and prospective / прогнозно-перспективные; 3 — exploration well 1 / поисковая скважина 1; 4 — parametric well 403 / параметрическая скважина 403; 5 — isobaths / изобаты; 6 — tectonic deformations / тектонические нарушения

tation from recently drilled wells. Using sea transport on the CNG-technology basis is reasonable in terms of absence of industrial pipelines which is explained by significant remoteness or water area depth.

Special features of the systems which provide implementation of the CNG technology are considerably defined by the specific character of some projects of gas transportation by sea. The composition and parameters of the system elements will depend, first of all, on the parameters of the gas supply source and the gas transportation system where it will be unloaded further. For a CNG ship aimed at gas reception from shelf fields it is necessary to provide a system for complex gas treatment in the composition similar to the systems of gas treatment for uploading into the gas pipeline on the shore fields. There should be a gas compression system on a ship for providing piping into the tanks onboard.

The analysis of feasibility of using different carriers for gas transportation from shelf fields of inner water areas proves that in the Black Sea it is desirable to use the variant of special barges of production-transportation types which are moored to a submerged entrance buoy of the STL-type (Submerged Turret Loading) or to a production platform on the shelf. It is reasonable to use two types of barges. The technological industrial equipment for produced gas purification, dehydration, compression and intermediate storage is assembled on a barge of the first type. Barges of the second type are used directly for compressed gas transportation. The combination of separate objects of the technological chain “drill – technological industrial equipment (technological barge) – transport barge” is provided by means of using special flexible pipelines. The loaded transport barge is transported by a tug along the proper route, and the place for uploading is taken by the next one (Fig. 3).

When designing the main systems of CNG ships for maintaining sea fields it is necessary to provide execution of the following tasks:

- acceptance of compressed gas in the sea directly from the well onto a CNG ship using the underwater loading complex of the STL-type;
- complex natural gas treatment;
- aftercompressing of gas which is supplied from the wells up to the pressure of 20,0...25,0 MPa;
- gas storage in special tanks under the pressure of up to 25,0 MPa during ship motion to the destination;
- gas supply for unloading in the destination using the underwater unloading complex of the STL-type and complete unloading of ship tanks.

When implementing the CNG transport technology special attention should be paid to the processes of gas

актуальность эта задача приобретает в условиях необходимости быстрого освоения и начала транспортировки добытого природного газа из только что пробуренных скважин. При отсутствии промышленных трубопроводов, что обусловлено значительной удаленностью или глубиной акватории, целесообразно использование морского транспорта на основе технологии CNG.

Особенности систем, обеспечивающих реализацию технологии CNG, в значительной мере определяются спецификой конкретных проектов морской транспортировки газа. Состав и параметры элементов систем будут зависеть, в первую очередь, от параметров источника поставок газа и газотранспортной системы, куда он будет разгружаться впоследствии.

Для судна CNG, предназначенного для приема газа с шельфовых месторождений, необходимо предусмотреть систему комплексной подготовки газа в составе, аналогичном системам подготовки газа к загрузке в газопровод на береговых месторождениях. На судне также должна быть налажена система компримирования газа для обеспечения закачки в емкости на борту.

Анализ целесообразности использования различных судов-носителей для транспортировки газа из шельфовых месторождений внутренних морских акваторий свидетельствует, что в акватории Черного моря предпочтителен вариант использования специальных барж производственно-транспортного типа, пришвартовывающихся к погруженному приемному бую типа STL (Submerged Turret Loading) или к добывающей платформе на шельфе. При этом целесообразно применять два типа барж. На барже первого типа монтируется технологическое промышленное оборудование для очистки, осушки, сжатия и промежуточного накопления добытого газа. Баржи второго типа используются непосредственно для транспортировки сжатого газа. Сочетание отдельных объектов технологической цепи «скважина – технологическое промышленное оборудование (технологическая баржа) – транспортная баржа» обеспечивается путем использования специальных гибких трубопроводов. Заполненную транспортную баржу транспортируют буксиром по соответствующему маршруту, а место для загрузки занимает следующая (рис. 3).

При проектировании основных систем судов CNG для обслуживания морских месторождений необходимо обеспечить выполнение следующих задач:

- прием сжатого газа в море непосредственно из скважины на судно CNG с использованием подводного загрузочного комплекса типа STL;
- комплексную подготовку природного газа;
- дожимание газа, поступающего из скважин, до давления 20,0...25,0 МПа;
- хранение газа в специальных емкостях под давлением до 25,0 МПа в течение перехода судна к месту назначения;
- подачу газа для разгрузки в месте назначения с использованием подводного разгрузочного комплекса типа STL и полное опорожнение емкостей судна.

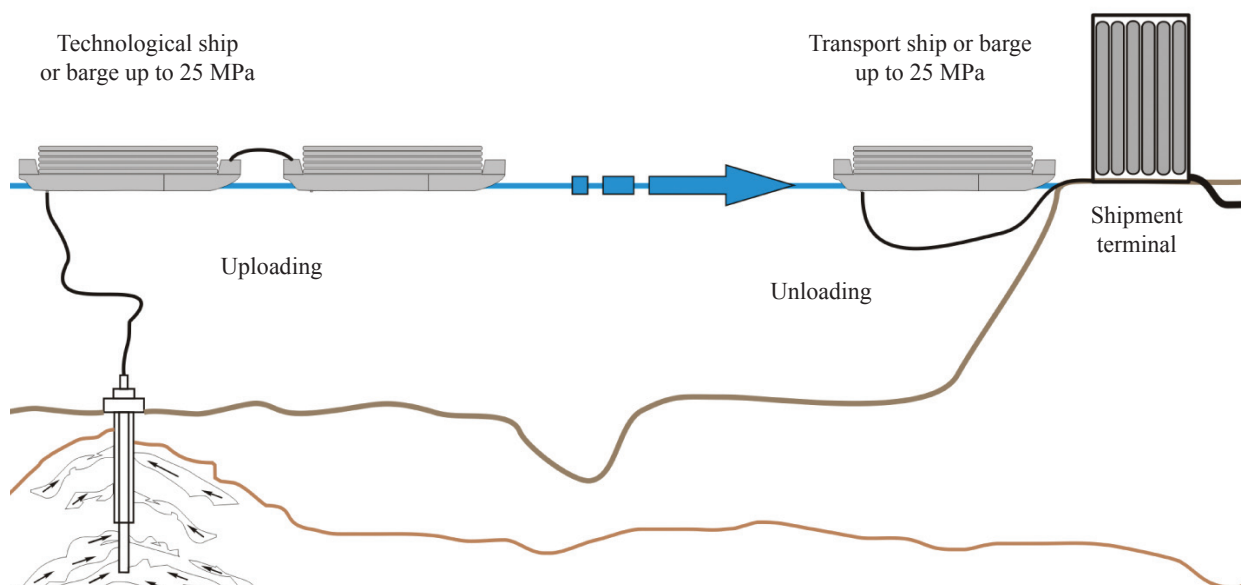


Fig. 3. Technological chain of sea gas transportation on the CNG-technology basis:

Рис. 3. Технологическая цепь морской транспортировки газа на основе технологии CNG:

technological ship or barge up to 25 MPa — технологическое судно или баржа до 25 МПа; *uploading* — загрузка; *unloading* — разгрузка; *transport ship or barge up to 25 MPa* — транспортное судно или баржа до 25 МПа; *shipment terminal* — разгрузочный терминал

treatment, compression, intermediate storage and loading into the cargo systems of the transport. In order to increase the mobility of some elements as well as of the transport system in general the authors offer to use the ships (barges) of two types as it was stated before. A technological ship (barge) is constantly in the zone of a shelf field (a well or a well group) and provides gas purification and drying, gas condensate, LPG and other hydrocarbon products emission, gas compression, intermediate storage of hydrocarbon products. Such vessels allow solving a number of problematic issues of the CNG technology. First of all they provide continuous performance of the wells and qualitative treatment of their products.

Intermediate cargo systems of technological ships (barges) allow reaching agreed operation of board compressor units with possible discharges of connected wells. This task is partially solved due to equipping of compressor stations as a part of a ship with compressors of various production with the drive from gas and electric engines.

More high-power compressors with the drive from a gas internal combustion engine shall operate to decrease the expenditures on gas compression. Possible mismatches in production shall be adjusted due to activation of the compressor of lower power with the drive from an electric engine which meets the conditions of frequent repetitive activation in a better way. The precondition is

Особого внимания при реализации транспортной технологии CNG для отдельных проектов требуют процессы подготовки, компримирования, промежуточного накопления и загрузки газа в грузовые системы транспортных средств. С целью повышения уровня мобильности отдельных элементов, как и транспортной системы в целом, авторы предлагают, как уже отмечалось ранее, использовать суда (баржи) двух типов. Технологическое судно (баржа) постоянно находится в районе шельфового месторождения (скважины или группы скважин) и обеспечивает очистку и осушение газа, выделение газового конденсата, ШФЛУ и других углеводородных продуктов, компримирования газа, промежуточное накопление углеводородной продукции. Наличие таких судов способствует решению целого ряда проблемных вопросов технологии CNG, прежде всего обеспечивает возможность непрерывной эксплуатации скважин и качественную подготовку их продукции.

Промежуточные грузовые системы технологических судов (барж) позволяют достичь согласованной работы бортовых компрессорных установок с возможными дебитами подключенных скважин. Эта же задача частично решается за счет комплектования компрессорных станций, входящих в состав судов, компрессорами разной производительности с приводом от газовых и электрических двигателей.

Для уменьшения затрат на сжатие газа при оптимальной нагрузке должны работать более мощные компрессоры с приводом от газового двигателя внутреннего сгорания. Возможные нестыковки в производительности следует корректировать за счет введения в действие компрессоров меньшей мощности

using compressors which include the node for their production regulation in a certain range.

In general the loading process is performed according to three schemes when using the ships and barges of the technological and transport type.

The most complicated variant is loading of a transport ship from the supplying source (a well or a well group) and the cargo system of a technological ship simultaneously (Fig. 4).

At the same time the process has the following stages:

- uploading of a transport ship due to the pressure of the gas from the supplying source;
- uploading of a transport ship due to the pressure of the gas from the cargo system of a technological ship;
- uploading of a transport ship with the gas of the cargo system of a technological ship using compressors;
- uploading of a transport ship with the gas from the supplying source using compressors.

In any circumstances the compressors are used when loading the ship with the gas from the supplying source or gas of the cargo system of a technological ship. In some cases there is need of simultaneous execution of these processes. The parameters and the amount of compressor units which are supplied to the technological ships shall meet the conditions of field development, consider special features of wells products treatment and the opportunity to change the volumes of gas to be transported.

High pressure in the wellhead provides decrease of expenditures for gas compression and allows using not as powerful compressors. It is obvious that the types and production of the compressors shall be defined by the parameters of the loading process in general and separate elements in particular.

с приводом от электрического двигателя, что более отвечает условиям частого периодического введения в действие. Неотъемлемым условием является также использование компрессоров, содержащих узел регулирования их производительности в определенном диапазоне.

В целом при использовании судов или барж технологического и транспортного типа процесс загрузки реализуется по трем схемам.

Самым сложным из вариантов является загрузка транспортного судна из источника снабжения (скважины или группы скважин) и грузовой системы технологического судна одновременно (рис. 4).

При этом следует выделить следующие этапы процесса:

- загрузку транспортного судна за счет давления газа источника снабжения;
- загрузку транспортного судна за счет давления газа грузовой системы технологического судна;
- загрузку транспортного судна газом грузовой системы технологического судна с использованием компрессоров;
- загрузку транспортного судна газом из источника снабжения с использованием компрессоров.

При любых обстоятельствах компрессоры используются при загрузке транспортного судна газом источника снабжения или/и газом грузовой системы технологического судна. В отдельных случаях возникает необходимость одновременной реализации этих процессов. Параметры и количество компрессорных установок, которыми комплектуются технологические суда, должны соответствовать условиям разработки месторождения, учитывать особенности подготовки продукции скважин и возможность изменения объемов газа, подлежащего транспортировке.

Наличие высоких давлений на устье эксплуатационных скважин способствует снижению затрат на компримирования газа и позволяет использовать менее мощные компрессорные установки. Понятно, что типы и производительность используемых компрессоров будут определены параметрами процесса загрузки в целом и отдельных этапов в частности.

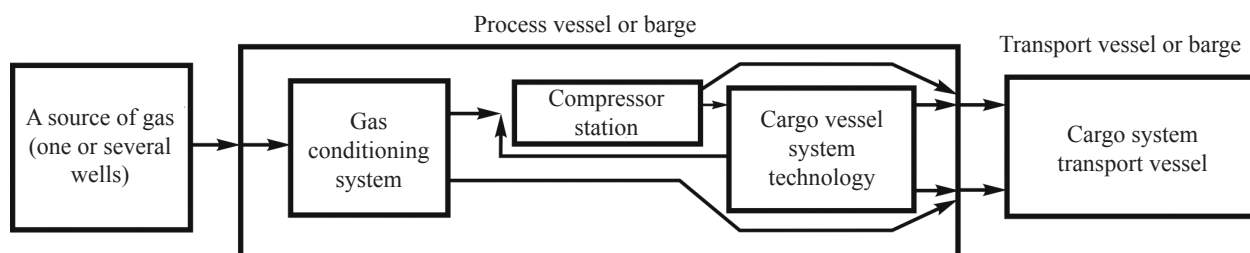


Fig. 4. Scheme of implementation of the transport ship loading process:

Рис. 4. Схема реализации процесса загрузки транспортного судна:

a source of gas (one or several wells) — источник газа (одна или несколько скважин); *gas conditioning system* — система подготовки газа; *compressor station* — компрессорная станция; *cargo vessel system technology* — грузовая система технологического судна; *cargo system transport vessel* — грузовая система транспортного судна; *process vessel or barge* — технологическое судно или баржа; *transport vessel or barge* — транспортное судно или баржа

Therefore, for each project of natural gas transportation over the sea using CNG ships it is necessary to perform the optimization search in order to equip technological ships with the equipment which meets the requirements of the specific project to the maximum extent and provides high economic feasibility. On the other hand, it is necessary to provide the required level of unification of technological and transport ships (barges) which could allow using them at various fields.

Considering current technical opportunities of Ukrainian enterprises and organizations for the CNG shipbuilding and their further use in the Black Sea the authors see a nonself-propelled barge (Fig. 5) with the cargo system as the most prospective sea transport.

Motion of barges from a well to the shore shall be performed using tugs. The approximate maximum velocity of tugging is 10 knots (18,5 km per hr).

In order to bring forward the practical implementation of the CNG technology and to efficiently use the available ships two variants were considered in the process of the analysis:

- reequipping of existing barges for the needs of compressed natural gas transportation;
- design and building of new barges for compressed natural gas transportation.

Capacity of wells and well pads were also taken into account as well as the opportunities of further development of the CNG ships fleet.

The preliminary selection and calculation of the parameters of transport barges is performed considering the day well (well group) production 300 and 600 thous. m³. At the same time relative parameters (per length unit) of the cargo system in a form of a long pipeline shall take the following values:

- inner volume — 0,431 m³;
- steel mass in the long pipeline — 157,1 kg/m;

Таким образом, для каждого проекта морской транспортировки природного газа с использованием судов CNG необходимо проведение оптимизационного поиска с целью комплектации технологических судов оборудованием, которое в наибольшей степени отвечает требованиям конкретного проекта и обеспечивает в целом высокую экономическую эффективность. С другой стороны, требуется обеспечивать и необходимый уровень унификации технологических и транспортных судов (барж), который позволял бы использовать их на различных месторождениях.

С учетом сегодняшних технических возможностей украинских предприятий и организаций по изготовлению судов CNG и их дальнейшего использования в бассейне Черного моря наиболее перспективным морским транспортным средством, по мнению авторов, является несамоходная баржа (рис. 5) с установленной на ней грузовой системой.

Перемещение барж от скважины до побережья должно осуществляться с помощью буксиров. При этом ориентировочная максимальная скорость буксировки составит 10 уз (18,5 км/ч).

С целью ускорения практической реализации технологии CNG и наиболее эффективного использования имеющегося парка транспортных судов в процессе анализа рассматривались два варианта:

- переоборудование существующих барж под нужды транспортировки сжатого природного газа;
- проектирование и строительство новых барж специально для транспортировки сжатого природного газа.

Учитывались существующие производительности скважин и объединенных кустов скважин, а также возможности дальнейшего развития парка судов CNG.

Предварительный выбор и расчет параметров транспортных барж выполнен исходя из суточной производительности скважины (группы скважин) 300 и 600 тыс. м³. При этом относительные параметры (на единицу длины) грузовой системы в виде длинномерного трубопровода принимают следующие значения:

- внутренний объем — 0,431 м³;
- масса стали в длинномерном трубопроводе — 157,1 кг/м;

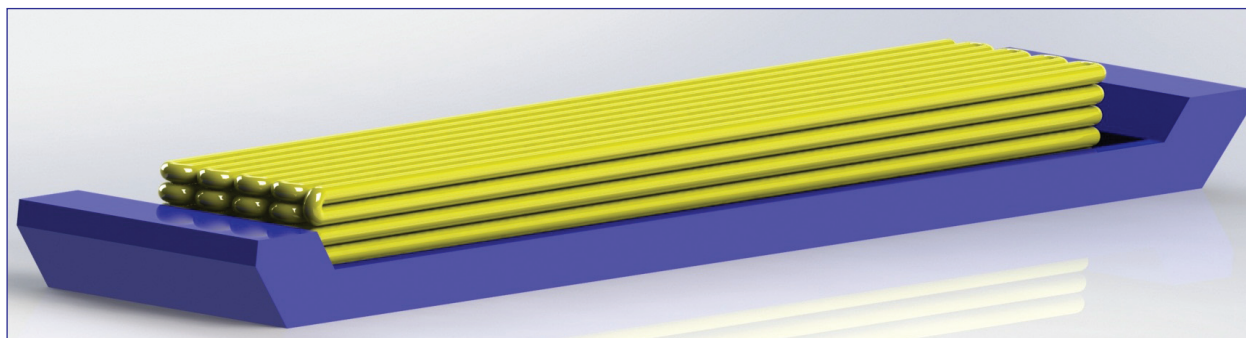


Fig. 5. Sea transport vehicle for CNG technology implementation

Рис. 5. Морское транспортное средство для реализации технологии CNG

- fiberglass mass in the long pipeline — 36,5 kg/m;
- gas mass in the long pipeline (under working pressure 20 MPa) — 72,2 kg/m;
- long pipeline mass with gas (under working pressure 20 MPa) — 265,87 kg/m;
- gas volume under standard conditions (s.c.) in 1 m of the long pipeline with gas (under working pressure 20 MPa) — 107,8 m³.

On the basis of relative parameters of the long pipeline a table is offered for barge selection (Table 1).

According to the results obtained the basic parameters of the barges which shall be equipped with cargo systems for compressed gas transportation can be the following:

Variant 1	Variant 2
length — 70 m;	length — 75 m;
width — 9 m;	width — 15 m;
board height — 3,5 m;	board height — 4,0 m;
freight-carrying capacity — 900 t	freight-carrying capacity — 2000 t

Efficiency of transportation on the basis of the CNG technology significantly depends on the gas delivery points on the shore, the levels of infrastructure, distribution and delivery networks development. The opportunities of the Crimean gas network were studied via these points. Currently there is quite a developed system of the main gas pipelines in the territory of the peninsula. The system scheme is shown in Fig. 6, and the main parameters of some gas pipelines and zones are represented in Table 2.

The analysis of the existing gas transport system of the Crimea, the flow capacity and the loading level of some gas pipelines and zones allows making the conclusion on potential possibility of transportation of additional gas volume via this system. Moreover, the Glebovskoye underground gas storage facility allows controlling the transportation volume and making strategic gas reserves.

During the study it was found out that the areas near Feodosiya and Tarkhankut (Ocheretay bay) are potential places for constructing receiving terminals for CNG ships unloading.

- масса стеклопластика в длинном трубопроводе — 36,5 кг/м;
- масса газа в длинном трубопроводе (при рабочем давлении 20 МПа) — 72,2 кг/м;
- масса длинного трубопровода с газом (при рабочем давлении 20 МПа) — 265,87 кг/м;
- объем газа при стандартных условиях (с.у.) в 1 м длинного трубопровода с газом (при рабочем давлении 20 МПа) — 107,8 м³.

На основе относительных параметров длинного трубопровода предлагается таблица для выбора баржи (табл. 1).

Исходя из полученных результатов базовые параметры барж, которые необходимо оборудовать грузовыми системами для перевозки газа в сжатом состоянии, могут быть следующими:

Вариант 1	Вариант 2
длина — 70 м;	длина — 75 м;
ширина — 9 м;	ширина — 15 м;
высота борта — 3,5 м;	высота борта — 4,0 м;
грузоподъемность — 900 т	грузоподъемность — 2000 т

Эффективность перевозок на базе технологии CNG в значительной степени будет зависеть и от наличия пунктов приема газа на побережье, уровня подготовленности их инфраструктуры и развитости сетей распределения и поставки газа. С этих позиций исследовались возможности газопроводной сети Крымского полуострова. В настоящее время на территории полуострова существует достаточно развитая система магистральных газопроводов, схема которой приведена на рис. 6, а основные характеристики отдельных газопроводов и участков отражены в табл. 2.

Анализ существующей газотранспортной системы АР Крым, пропускной способности и уровня загрузки отдельных газопроводов и участков позволяет сделать вывод о потенциальной возможности транспортировки этой системой дополнительного количества природного газа, который может поступать от шельфовых месторождений. Кроме того, наличие Глебовского подземного хранилища газа позволяет осуществлять регулирование объемов транспортировки и создавать стратегические резервы газа.

В процессе исследования было выяснено, что потенциальными местами создания приемных терминалов для разгрузки судов CNG могут быть площадки в районе города Феодосия и в районе мыса Тарханкут (бухта Очеретай).

Table 1. Characteristics of long pipelines (under working pressure 20 MPa)

Таблица 1. Характеристики длинных трубопроводов (при рабочем давлении 20 МПа)

Freight-carrying capacity, t Грузоподъемность судна, т	Length of long pipeline L_{lp} , m Длина длинного трубопровода $L_{тр}$, м	Gas mass, t Масса газа, т	Inner volume W , m ³ Внутренний объем W , м ³	Gas volume under s. c. V , m ³ Объем газа при с.у. V , м ³
750	2820	203,7	1216	304180
1000	3760	271,6	1620	405600
1500	5640	407,4	2430	608360

Table 2. Characteristics of gas pipelines and gas pipeline branches of PJSC “Chernomorneftegas”**Таблица 2.** Характеристика газопроводов и газопроводов-отводов ПАО «Черноморнефтегаз»

Main gas pipeline name Наименование магистрального газопровода	Length, km Длина, км	Gas pipeline diameter and wall thickness, mm Диаметр газопровода и толщина стенки, мм
Gas pipeline <i>Glebovka – Simferopol</i> / Газопровод Глебовка – Симферополь including / в том числе:	101,8	529×8
– transition over <i>Donuzlav island</i> (2nd thread — 0,65 km) / переход через о. Донузлав (2-я нитка – 0,65 км)	0,65	529×8
– looping in the area 17,4 km — 59,0 km / лупинг на участке 17,4 км – 59,0 км	41,6	529×8
Gas pipeline <i>Simferopol – Sevastopol</i> / Газопровод Симферополь – Севастополь	56,6	530×7,5
Gas pipeline <i>Dzhankoy – Simferopol</i> / Газопровод Джанкой – Симферополь	92,1	529×7
Gas pipeline <i>Crimea border – Dzhankoy</i> / Газопровод граница Крыма – Джанкой	72,6	720×10
Gas pipeline <i>Krasnoperekopsk – Glebovskoye UGSF</i> Газопровод Красноперекопск – Глебовское ПХГ	97,0	1020×10
Interindustrial collector <i>Strelkovoye – Dzhankoy</i> Межпромышленный коллектор Стрелковое – Джанкой	58,2	325×8
Gas pipeline <i>Golitsyno – shore</i> / Газопровод Голицыно – берег	155,379	
Gas pipeline <i>Golitsyno – Ocheretay bay</i> (2nd thread) Газопровод Голицыно – б. Очеретай (вторая нитка)	62,7	426×16
Gas pipeline <i>Ocheretay bay – Glebovka</i> / Газопровод б. Очеретай – Глебовка	43,2	530×8
Gas pipeline <i>Arkhangelskoye – shore</i> / Газопровод Архангельское – берег	53,95	426×16
Gas pipeline <i>Glebovka – Simferopol</i> / Газопровод Глебовка – Симферополь	121,9	530×8
<i>Sevastopol</i> (2nd thread) / Севастополь (вторая нитка)	53,5	426×16

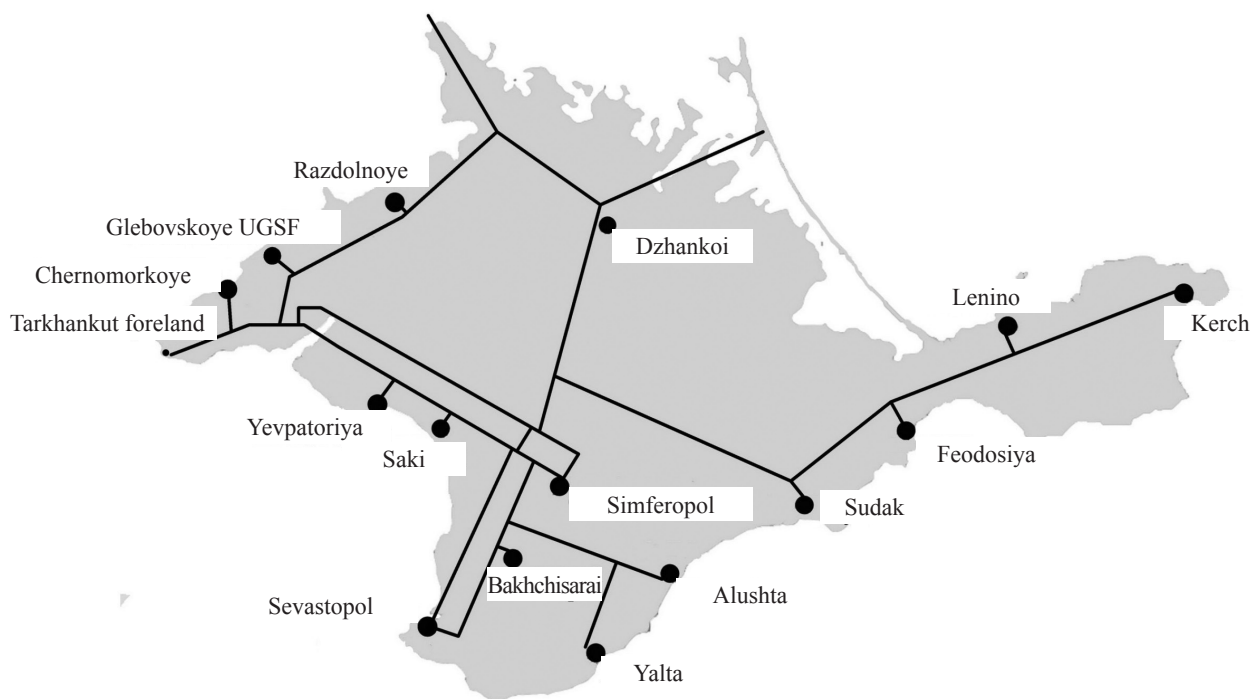
**Fig. 6.** Process flow scheme of the main gas pipelines of the Crimea**Рис. 6.** Технологическая схема магистральных газопроводов АР Крым

Table 3. Results of feasibility study on the project of using the CNG technology for natural gas transportation from shelf fields of the Black Sea to the terminals near Feodosiya and Tarkhankut**Таблица 3.** Результаты технико-экономического обоснования проекта применения технологии CNG для перевозки природного газа из шельфовых месторождений Черного моря к терминалам, размещенным в районах Феодосии и мыса Тарханкут

№	Parameters / Показатели	Daily cargo turnover, thous. m ³ /day Суточный грузооборот, тыс. м ³ /сут.	
		300	600
1	Annual cargo turnover, mln m ³ /year Годовой грузооборот, млн м ³ /год	109,5	219,0
2	Barges parameters, m: / Параметры барж, м: length / длина width / ширина board height / высота борта	70 9 3	75 15 4
3	Required number of ships for cargo turnover handling: Необходимое количество судов для обслуживания грузопотока: barges / барж tugs / буксиров	3 1	3 1
4	Investment, mln USD / Капиталовложения, млн дол. США Total / Всего Including: / В том числе: barges with cargo systems and tugs / баржи с грузовыми системами и буксиры freight-handling terminals / погрузочно-разгрузочные терминалы	17,8 14,3 3,5	29,6 25,3 4,3
5	Maintenance expenses, mln USD/year / Эксплуатационные расходы, млн дол./год	2,875	5,15
6	Transportation first cost, USD/1000 m ³ × 100 km Себестоимость транспортировки, дол./1000 м ³ × 100 км	26,25	23,52
7	Transportation rate, USD/1000 m ³ × 100 km for the first six years Транспортный тариф, дол./1000 м ³ × 100 км на первые шесть лет	60,4	54,1
8	Transportation rate, USD/1000 m ³ × 100 km for further years Транспортный тариф, дол./1000 м ³ × 100 км на следующие годы	31,5	28,2

When holding the preliminary feasibility study (FS) of the reasonability of sea gas transportation on the basis of the CNG technology the variants of small cargo flows were considered, that is 110 and 220 mln m³ per year which corresponds to the day volumes of 300 and 600 thous. m³. The average transportation distance is 100 km. The FS results are shown in Table 3.

According to the analysis of existing and prospective places for shelf gas production and potential points of connecting to the gas transport system of the Crimea the approximate distance of gas transportation over water areas for the majority of the detected fields is not more than 100...120 km.

CONCLUSION. 1. The results of the technical and economic conditions analysis of using the CNG technology for natural gas transportation from shelf fields of the Black Sea as well as the results obtained due to the preliminary FS prove technical and economic feasibility of using this technology in practice. 2. For technical implementation of the projects on natural gas transportation using the CNG technology it is necessary to hold a number of studies of technological processes executed at different stages. It is also required to perform the optimization search in order to provide the equipment for the ships so that this equipment shall provide their high economic efficiency.

При проведении предварительного технико-экономического обоснования (ТЭО) целесообразности морской транспортировки газа на основе технологии CNG рассматривались варианты реализации малых грузопотоков, а именно 110 и 220 млн м³ в год, что соответствует суточным объемам 300 и 600 тыс. м³. Среднее расстояние транспортировки принято равным 100 км. Результаты ТЭО приведены в табл. 3.

Исходя из анализа существующих и перспективных мест добычи газа шельфовой зоны и потенциальных точек подключения к газотранспортной системе Крыма, ориентировочное расстояние транспортировки газа через морские акватории для большинства выявленных месторождений не превышает 100...120 км.

ВЫВОДЫ. 1. Результаты анализа технических и экономических условий применения технологии CNG для перевозки природного газа шельфовых месторождений Черного моря, а также полученные в процессе предварительного ТЭО результаты свидетельствуют о технической и экономической целесообразности практического применения этой технологии. 2. Для технической реализации проектов транспортировки природного газа с использованием технологии CNG необходимо проведение ряда исследований технологических процессов, реализуемых на отдельных этапах, а также осуществление оптимизационного поиска с целью комплектования судов оборудованием, обеспечивающим их высокую экономическую эффективность.

Список литературы

- [1] Пат. 33882 Україна, МПК (2006) F17C 5/00. Спосіб транспортування стиснутого природного газу [Текст] / Крижанівський Є.І., Зайцев В.В., Романовський Г.Ф. [та ін.]. — № u200804626 ; заявл. 10.04.08 ; опубл. 10.07.08 // Промислова власність. — 2008. — Бюл. № 13.
- [2] Пат. 42693 Україна, МПК(2009) B67D 5/00 F17C 1/00. Транспортний CNG-модуль [Текст] / Крижанівський Є.І., Зайцев В.В., Зайцев Вал.В., Зайцев Д.В. ; Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. — № u200903995 ; заявл. 23.04.09 ; опубл. 10.07.09 // Промислова власність. — 2009. — Бюл. № 13.
- [3] Пат. 42694 Україна, МПК(2009) B67D 5/00 F17C 1/00. Спосіб морського транспортування стиснутого природного газу в CNG-модулях [Текст] / Крижанівський Є.І., Зайцев В.В., Зайцев Вал.В., Зайцев Д.В. ; Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. — № u200903996 ; заявл. 23.04.09 ; опубл. 10.07.09 // Промислова власність. — 2009. — Бюл. № 13.
- [4] Деклар. пат. на корисну модель 67664 Україна, МПК F17C 5/00. Спосіб транспортування стиснутого природного газу рухомим трубопроводом [Текст] / Патон Б.Є., Крижанівський Є.І., Савицький М.М. [та ін.] ; заявник і патентотримач Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. — № u201114580 ; заявл. 08.12.11 ; опубл. 27.02.12 // Промислова власність. — 2012. — Бюл. № 4.
- [5] Деклар. пат. на корисну модель 67658 Україна, МПК B63B 25/00. Баржа-пліт для транспортування стиснутого природного газу [Текст] / Патон Б.Є., Крижанівський Є.І., Савицький М.М. [та ін.] ; заявник і патентотримач Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. — № u201113979 ; заявл. 28.11.11 ; опубл. 27.02.12 // Промислова власність. — 2012. — Бюл. № 4.
- [6] Крижанівський, Є.І. Техніко-економічні аспекти транспортування природного газу із морських родовищ [Текст] / Є.І. Крижанівський, О.Г. Дзьоба, А.П. Джус, Ю.В. Міронов // Науковий вісник Івано-Франків. нац. техн. ун-ту нафти і газу. — 2013. — № 2(2) 35. — С. 7–15.
- [7] Нафтогазоперспективні об'єкти України. Наукові і практичні основи пошуків родовищ вуглеводнів в українському секторі Прикарпатського шельфу Чорного моря [Текст] : монографія / П.Ф. Гожик, М.І. Євдошук, Е.А. Ставицький [та ін.]. — К. : Едельвейс, 2011. — 440 с.

© Е.И. Крыжановский, О.Г. Дзеба, В.В. Зайцев и др.

Статью рекомендует в печать
д-р техн. наук, проф. Ю.Н. Коробанов



Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
АЭРОГИДРОДИНАМИКИ И ПРОЧНОСТИ**

ПРОЕКТ РЕЧНОГО ТРАМВАЯ



каб. 455, просп. Героев Сталинграда, 9,
г. Николаев, Украина, 54025
тел.: +38 (0512) 70-91-05
e-mail: valery.nekrasov@nuos.edu.ua

**Подробная информация:
nuos.edu.ua/science/**

Преимущества проекта:

- ◆ судно имеет высокую остойчивость;
- ◆ энергетическая установка судна экономична и допускает использование энергосберегающих технологий для эксплуатации в зонах отдыха и прибрежных районах сплошной городской застройки;
- ◆ судно имеет ограниченную осадку с возможностью высадки пассажиров на необорудованный берег;
- ◆ минимальное негативное влияние на окружающую среду от эксплуатации судна.

Основные размеры и характеристики проекта:

Длина наибольшая — 17,61 м
Ширина наибольшая — 6,40 м
Ширина корпуса — 2,10 м
Высота борта — 2,20 м
Борт надводный — 1,45 м
Осадка — 0,75 м
Водоизмещение — 31,0 т
Пассажировместимость максимальная — 72 чел.
Экипаж — 3 чел.
Скорость максимальная — 19,5 км/ч (10 уз)
Мощность максимальная — 38,3 кВт (52 к.с.)