УДК 622.1:656.614.34:656.614.35

С.С. Кубрин, С.Н. Решетняк, А.А. Алешин

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ УГЛЕВОДОРОДОВ С МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ШЕЛЬФЕ АРКТИКИ

В настоящее время достаточно сильно возрос интерес ряда государств к шельфовым запасам полезных ископаемых, в том числе к жидким углеводородам в арктических районах. Этот вопрос является достаточно важным в Российской Федерации ввиду того, что эти районы обладают достаточно большими запасами. Однако возникает ряд вопросов по безопасной и эффективной транспортировке добытого сырья с использованием ледокольного флота. В публикации предлагается решение задачи геоинформационного обеспечения оптимизации расходов транспортировки жидких углеводородов с удаленных районов на арктическом шельфе.

Ключевые слова: Арктика, шельф, месторождение, оптимизация транспортировки, танкер, арктический класс, транспортировка нефти

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-14-20

В Морской доктрине Российской Федерации на период до 2020 г. (Указ президента РФ от 27 июля 2001 г.) был определен ряд приоритетных направлений, одним из которых является освоения Арктической зоны РФ. Данное направление имеет все более возрастающее геополитическое, стратегическое и экономическое значения. Все это делает предпосылки к развитию мероприятий по освоению Арктической зоны, в которой обнаружены крупнейшие месторождения углеводородов, путем модернизации инфраструктуры арктической транспортной системы жидких углеводородов за счет создания современной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры.

В настоящее время в Арктическом шельфе обнаружены значительные запасы углеводородов. Крупнейшие месторождения обнаружены на полуостров Ямал, полуостров Гыданский, Обская губа, Тазовская губа, акватория Печерского моря, акватория Карского моря, акватория Баренцева моря. Следует отметить, что имеется ряд наименее изученных направлений российского Арктического шельфа, к ним следует отнести моря восточно-арктического шельфа (Восточно-Сибирское и Чукотское моря). Геологические модели углеводородных ресурсов этой части арктического шельфа являются пока приблизительными, но не менее перспективными [1, 2].

Единственное месторождение, расположенное на Арктическом шельфе, с которого ведется добыча жидких углеводородов, является Прилозломное. Транспортировка добытых полезных ископаемых ведется с помощью Арктического флота. Нефть нового российского

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 12. С. 14–20.
© С.С. Кубрин, С.Н. Решетняк, А.А. Алешин. 2017.

Рис. 1. Танкер проекта «Василий Динков»

сорта получила название Arctic Oil (ARCO) и впервые была отгружена с Приразломного в апреле 2014 г.

На суше также расположено множество месторождений улеводородов. Богатейшие запасы нефти, газа и газоконденсата разведаны в Ненецком автономном округе. Основным нефтегазоносным районом России и одним из крупнейших нефтедобывающих регионов мира является Ханты-Мансийский автономный округ. Здесь открыто более 500 нефтяных и газонефтяных месторождений, запасы которых составляют около 20 млрд т. Прогнозные запасы нефти оцениваются в 35 млрд т. Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО) — крупнейший газодобывающий регион России, где добывается 90% всего российского газа и 22% мировой добычи природного газа. В ЯНАО открыто 32 месторождения углеводородов, из которых 24 на суше.

Большое количество месторождений углеводородов, в Арктической зоне Российской Федерации, позволяют поставить одну из важнейших задач по эффективной транспортировке углеводородного сырья, как в техническом, так и в организационном плане. Поэтому геоинформационное обеспечение транспортировки углеводородов с месторождений на шельфе Арктики является актуальной требующей решения задачей.

Ввиду того, что географические особенности береговых и шельфовых рельефов российской Арктической зоны достаточно сложный, предпочтение по транспортировке жидких углеводородов, как наиболее безопасного и эффективного способа, отдается арктическому —

Рис. 2. Арктический танкер проекта Р-70046 «Капитан Готский»

танкерному флоту. Для обслуживания Прилозломного месторождения, которое является одним из крупнейших в Арктическом шельфе, был построен и введен в эксплуатацию в порт Варандей арктический грузовой терминал. Специально для эксплуатации данного терминала были также построены танкера-ледоколы типа «Василий Динков» (рис. 1), арктические танкера проекта Р-70046 (рис. 2) водоизмещением 70 тыс. т каждый [3, 4].

В качестве примера для построения геоинформационной системы обеспечение транспортировки углеводородов принимаем прибрежное месторождение Новопортовское. Это одно из самых крупных разрабатываемых нефтегазоконденсатных месторождений в ЯНАО, расположенное в 30 км от Обской губы. Оно расположено вдали от транспортной трубопроводной инфраструктуры, поэтому оптимальным решением для транспортировки сырья была выбрана отгрузка морем через мыс Каменный. В связи с этим возникает необходимость оптимизации расходов на транспортировку данным способом [5].

Таким образом, необходимо решить задачу по выбору оптимального количества судов, необходимых для транспортировки сырья с данного месторождения. Транспортировка сырья с Новопортовского месторождения включает нескольких этапов:

- доставка нефти с месторождения до побережья по напорному нефтепроводу протяженностью более 100 км и мощностью 600 тыс. т в год;
- перегрузка нефти через две нитки трубопровода и узел присоединения к приемо-сдаточному пункту (общая протяженность сухопутной части составляет 3 км, подводной части — 7,9 км);
- погрузка морских танкеров ледового класса с Арктического терминала у мыса Каменный.

Особенностью всех выполняемых рейсов является необходимый заход в порт Мурманск при входе и выходе в акваторию Северного Морского Пути для получения разрешения на плавание и открытие/закрытие границы (рис. 3). Оптимальное количество морских танкеров для обеспечения перевозок заданного

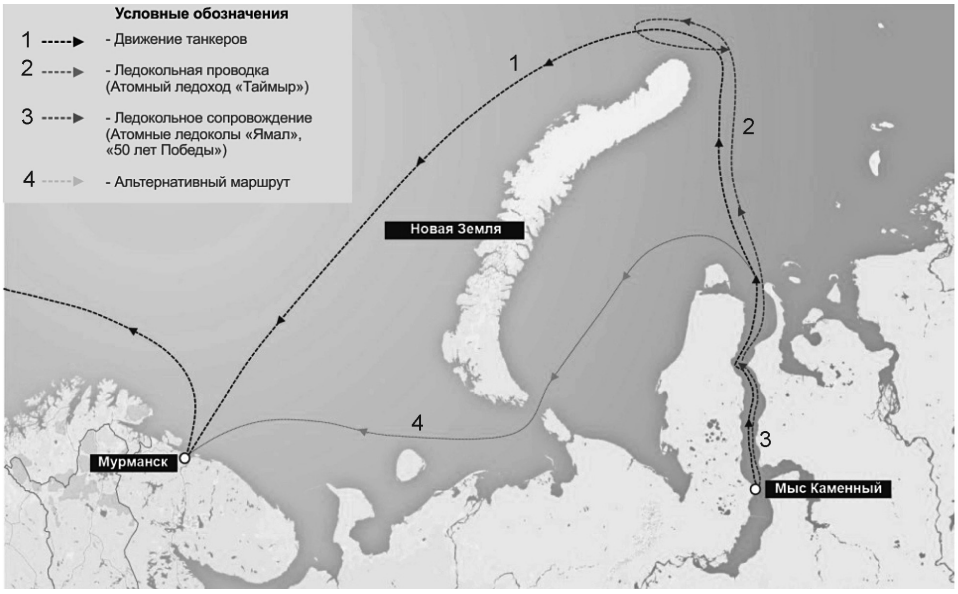

Рис. 3. Схема транспортировки нефти с месторождения Новый Порт

количества сырой нефти необходимо определить в целом за год с учетом изменяемой гидрометеорологической и ледовой обстановки.

Оптимальное количество морских танкеров определяется следующим образом.

Рассчитаем годовую потребность в грузовых судах:

$$A = m_{дг} / m_{тк},$$

где $m_{дг}$ — годовая добыча нефти; $m_{тк}$ — грузоподъемность одного танкера.

Количество заходов в порт погрузки одного судна за год:

$$n_1 = 365 / t_{кр},$$

где $t_{кр}$ — время полного круга для одного судна.

$$t_{кр} = t_{погр} + 2t_{п-м} + 2t_{м} + 2t_{м-в} + t_{выгр},$$

где $t_{погр}$ — время погрузки танкера на терминале; $t_{п-м}$ — время перехода танкера из порта погрузки в порт Мурманск; $t_{м}$ — время стоянки в порту Мурманск; $t_{м-в}$ — время перехода из порта Мурманск в порт выгрузки; $t_{выгр}$ — время выгрузки танкера.

Таким образом, оптимальное количество танкеров рассчитывается по формуле:

$$n_{тк} = \frac{A}{n_1} = \frac{A \cdot t_{кр}}{365} =$$

$$= \frac{A \cdot \left(t_{погр} + 2t_{п\text{-}м} + 2t_{м} + 2t_{м\text{-}в} + t_{выгр}\right)}{365}$$

Полученные данные будут справедливы лишь в том случае, если будет обеспечиваться круглогодичная навигация на Обской губе. По результатам многолетних исследований продолжительность навигации мыс Каменный составляет 92—102 дней в году, с первой половины июля до первой половины октября [6], в остальное время требуется ледокольная проводка, что замедляет движение судна. Согласно данным, представленным Арктическим и Антарктическим научно-исследовательским институтом (ААНИИ), в зимний период 2014—2015 гг. образование льда на маршруте началось 14 октября с появлением ниласа (тонкая ледяная корка) у входа в Обскую губу. К середине ноября на протяжении всего пути от мыса Желания до мыса Каменный устанавливается молодой лед (10—30 см). К концу декабря однолетний лед (от 30 см до 2 м) целиком заменяет молодой, в акватории Обской губы устанавливается припай. С января по март льдом покрывается также некоторый участок маршрута в Баренцевом море вдоль побережья Новой Земли. На рис. 4 показана карта ледовой обстановки с максимальным распространением льдов в данный период на маршруте перехода. Только к июлю маршрут перехода оказывается полностью чист ото льда.

На данный момент завершено строительство Арктического терминала максимальной мощностью до 8,5 млн т в год, расположенного в акватории Обской губы в районе мыса Каменный. Это значит, что в ближайшем будущем станет доступна погрузка морских танкеров напрямую с терминала, и оптимальное количество необходимых судов с учетом сезонности можно будет рассчитать по формуле:

$$n_{тк} = A \cdot$$

$$\cdot \frac{365\left(t_{погр} + 2t_{м} + 2t_{м\text{-}в} + t_{выгр}\right) + 2T_1 t_{п\text{-}м} + 2T_2 t'_{п\text{-}м}}{365^2}$$

где $t'_{п-м}$ — время перехода из порта погрузки в порт Мурманск с учетом ледовой обстановки; T_1 — продолжительность навигации в сутках; T_2 — продолжительность периода, когда необходима ледокольная проводка.

Время перехода из порта погрузки в порт Мурманск с учетом ледовой обстановки можно рассчитать следующим образом:

$$t'_{п\text{-}м} = \frac{v\ \left(S - S_л\right) \cdot t_{п\text{-}м} + S \cdot S_л}{S \cdot v_л}$$

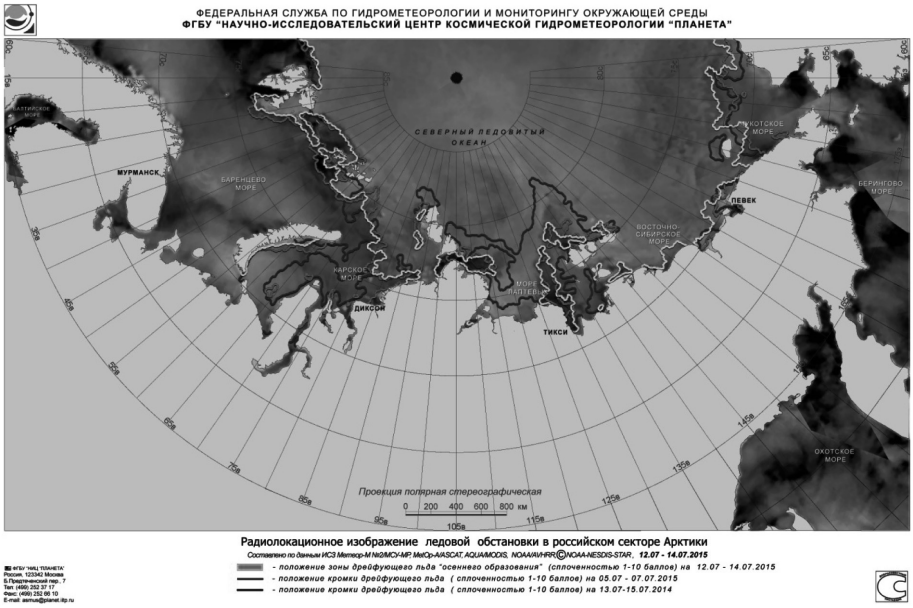

Рис. 4. Карта ледовой обстановки в российском секторе Арктики

где S — общая протяженность пути из места погрузки в порт Мурманск; $S_л$ — протяженность плавания в ледовых условиях с ледокольной проводкой; $v_л$ — скорость движения судна в канале за ледоколом.

Скорость движения судна в канале за ледоколом рассчитывается следующим образом [7]:

$$v_л = v_{чв}\left(1 - K_c \frac{h\left(v_{чв} - 2\right)}{h_{пр} \cdot v_{чв}}\right)$$

где $v_{чв}$ — скорость хода на чистой воде, узлов; h — толщина преодолеваемого льда, м; $h_{пр}$ — льдопроходимость судна в ровных сплошных льдах, м.

$$K_c = \begin{cases} 0{,}116 + 0{,}278 \cdot \bar{b}^{2.29} \bar{b} < 1 \\ 0{,}390 + 0{,}523\left(\bar{b} - 1\right) \quad 1 \le \bar{b} < 1{,}4 \\ 1 - \dfrac{0{,}56}{\bar{b}} \qquad 1{,}4 \le \bar{b} \end{cases}$$

где $\bar{b}$ — относительная ширина судна, вычисленная по формуле $\bar{b} = B_c/B_л$; B_c — ширина судна; $B_л$ — ширина ледокола.

Льдопроходимость судна в ровных сплошных льдах рассчитывается следующим образом [7]:

$$h_{пр} = \frac{k}{3{,}13} D^{1/6} \left(\frac{P_e}{B_c}\right)^{1/2}$$

где k — коэффициент, определенный по прототипу, по данным ААНИИ, для транспортных судов ≈0,067; D — водоизмещение, т; P_e — тяга гребных винтов, кН.

Произведенные расчеты по данной методике для случая, когда мощность нефтепровода с месторождения 600 тыс. т в год. Для перевозки нефти были выбраны арктические танкера проектов 20070 и 20071 (грузоподъемность — 18 000 т; водоизмещение — 27 500 т; ширина B_c — 24,5 м; скорость хода на чистой воде $v_{чв}$ — 13 узлов; льдопроходимость судна — 0,4 м (класс ледового усиления УЛ1); тяга гребных винтов P_e — 590 кН), проводку во льдах обеспечивают ледоколы «Таймыр» и «50 лет победы» (ширина $B_л$ — 29,2 м и 30 м соответственно). Условия плавания: продолжительность навигации — 97 дней, протяженность пути

от мыс Каменный в порт Мурманск — 1320 морских миль, протяженность плавания в ледовых условиях с ледокольной проводкой — 510 морских миль, средняя толщина льда на маршруте — 1 м. Время погрузки/разгрузки танкера — 2 суток, время стоянки в порт Мурманск — 1 сутки, время перехода в порт выгрузки — 5 суток (в порты Нидерландов, Дании, Швеции). Полученные расчетные данные следующие: скорость движения в канале за ледоколом — 5 узлов, время перехода в Мурманск от мыс Каменный увеличивается до 6,8 суток в ледовых условиях по сравнению с 4,2 суток в летний период. Оптимальное количество танкеров выбранного типа — 3 единицы. В том случае, если выгрузка будет производиться на накопитель в порт Мурманск, количество необходимых танкеров сократится до 2 единиц.

Используя приведенный выше алгоритм, можно решить задачу по выбору оптимального количества судов, необходимых для транспортировки сырой нефти с Новопортовского месторождения с учетом влияния ледовой обстановки. Данные расчеты являются важным элементом оптимизации организации транспортировки углеводородного сырья, которая является одной из важнейших задач обеспечения промышленной разработки нефтяных месторождений в шельфовой зоне Арктики. Таким образом, решение данной задачи полностью соответствует приоритетам нынешней национальной политики и геополитических интересов Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мухарёв А. А.*, *Кубрин С. С.* Маркшейдерское и навигационное обеспечение разработки твердых полезных ископаемых на шельфе Арктики // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 8. — С. 106—113.
2. *Юдин Ю. И.*, *Гололобов А. Н.*, *Степахно А. Г.*, *Барахта А. В.* Проблемы обеспечения безопасности судовождения при транспортировке нефтепродуктов в районах Арктического шельфа России // Вестник МГТУ. — 2009. — т. 12. — № 1. — С. 13—16.
3. *Куликов Н. В.* Погрузка танкеров в условиях Крайнего Севера позволяет ускорить освоение нефтяных месторождений северных регионов России // Морские порты России. — 2003. — № 1. — С. 66—70.
4. *Зотова В.* Отечественные судостроители готовы реализовать проект первого российского танкера ледового плавания // Морская биржа. — 2003. — № 2. — С. 36—37.
5. *Бамбуляк А. Францен Б.* Транспортировка нефти из российской части Баренцева региона. — Норвежский Баренцев Секретариат и Аквапланнива, Норвегия. 2009. — С. 93—97.
6. *Пеков М. С.* Исследование и совершенствование транспортно-технологической схемы завоза грузов в районы Крайнего Севера (на примере Обь-Иртышского бассейна). Диссертация кандидата технических наук. — Москва, 1984 .
7. *Снопков В. И.* Управление судном. — СПб: Профессионал, 2004. — 536 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Кубрин Сергей Сергеевич[1] — доктор технических наук,
профессор, зав. лабораторией,
Решетняк Сергей Николаевич[1] — кандидат технических наук,
доцент, НИТУ «МИСиС»,
старший научный сотрудник,
e-mail: reshetniak@inbox.ru,
Алешин Александр Александрович — студент,
Московская государственная академия водного транспорта,
[1] ИПКОН РАН.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 12, pp. 14–20.

UDC 622.1:656.614.34:656.614.35

S.S. Kubrin, S.N. Reshetnyak, A.A. Aleshin

GEOINFORMATION SUPPORT OF HYDROCARBONS TRANSPORT FROM ARCTIC SHELF

Currently quite strongly increased the interest of some States to offshore mineral resources, including liquid hydrocarbons in the Arctic regions. This question is quite important in the Russian Federation due to the fact that these areas have a fairly large reserves. However, a number of issues on safe and efficient transportation of extracted raw materials with the use of icebreakers.

The publication proposes a solution to the problem Geo-information support software for optimizing the transportation of liquid hydrocarbons from remote areas of the Arctic shelf.

Key words: Arctic, offshore, oilfield, transportation optimization, tanker, Arctic-class oil transportation.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-14-20

AUTHORS

Kubrin S.S.[1], Doctor of Technical Sciences,
Professor, Head of Laboratory,
Reshetnyak S.N.[1], Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor,
National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia,
Senior Researcher, e-mail: reshetniak@inbox.ru,
Aleshin A.A., Student,
Moscow State Academy of Water Transport,
117105, Moscow, Russia,
[1] Institute of Problems of Comprehensive Exploitation
of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences,
111020, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. Mukharev A. A., Kubrin C. S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 8, pp. 106—113.

2. Yudin Yu. I., Gololobov A. N., Stepakhno A. G., Barakhta A. V. *Vestnik MGTU*. 2009, vol. 12, no 1, pp. 13—16.

3. Kulikov N. V. *Morskie porty Rossii*. 2003, no 1, pp. 66—70.

4. Zotova V. *Morskaya birzha*. 2003, no 2, pp. 36—37.

5. Bambulyak A. Frantsen B. *Transportirovka nefti iz rossiyskoy chasti Barentseva regiona* (Oil transport from the Russian part of the Barents Region), The Norwegian Barents Secretariat and Aqualandia, Norway. 2009, pp. 93—97.

6. Pekov M. S. *Issledovanie i sovershenstvovanie transportno-tekhnologicheskoy skhemy zavoza gruzov v rayony Kraynego Severa (na primere Ob'-Irtyshskogo basseyna)* (Analysis and improvement of transportation flow chart for deliveries to the Far North (Russia) in terms of the Ob–Irtysh system), Candidate's thesis, Moscow, 1984 .

7. Snopkov V. I. *Upravlenie sudnom* (Ship control), Saint-Petersburg, Professional, 2004, 536 p.