

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ДОСТАВКИ ПЛАВУЧЕЙ ПЛАТФОРМЫ В ПОРТ ТИКСИ

Е.В. Жаркова (Санкт-Петербург)

Введение

В последние годы наблюдается устойчивый рост интереса к использованию Северного морского пути (СМП) для транспортировки крупногабаритных объектов в арктические порты. Успешная транспортировка плавучей атомной электростанции «Академик Ломоносов» в порт Певек продемонстрировала, что реализация подобных проектов возможна, однако требует тщательной предварительной подготовки и учета множества навигационных рисков [1].

Порт Тикси является важным транспортным узлом на востоке Арктики. В 2024 г. он получил статус международного порта и был открыт для захода иностранных судов [2, 3], что создало новые возможности для реализации крупных инвестиционных проектов в арктической зоне Якутии. Согласно плану развития СМП до 2035 г., в рамках мастер-плана транспортно-логистического комплекса Тикси-Найба предусмотрено строительство глубоководного морского терминала в Найбе с грузооборотом 1 млн т на первом этапе и последующим увеличением до 10 млн т к 2035 г., а также модернизация существующего порта Тикси [4, 5]. Планируется, что транспортно-логистический комплекс Тикси-Найба станет ключевым узлом СМП, что делает размещение здесь новой плавучей буровой платформы перспективной задачей. Однако акватория порта и прилегающие районы отличаются сложной ледовой обстановкой, наличием мелководных участков и недостаточной гидрографической изученностью [6].

Цель работы – оценить возможность безопасной доставки плавучей буровой платформы в порт Тикси с учётом сезонных изменений условий, используя метод имитационного моделирования и многокритериальный подход к оценке навигационной безопасности.

Основной текст

В качестве объекта исследования выбрана плавучая буровая платформа, по своим габаритам и характеристикам аналогичная ПАТЭС «Академик Ломоносов». Длина платформы составляет около 144 м, ширина – 30 м, осадка – 5,6 м. Транспортировку предполагается вести методом буксировки с участием ледоколов и буксирных судов усиленного ледового класса. Подобную схему уже успешно применяли в 2019 г. при доставке «Академика Ломоносова» в Певек: в операции были задействованы атомные ледоколы «50 лет Победы» и «Вайгач», дизель-электрические ледоколы и несколько морских буксиров [1].

Маршрут пролегает от порта Мурманск до порта Тикси по стандартной трассе СМП через пролив Карские Ворота. Протяжённость пути составляет около 3500 морских миль, он проходит через акватории Баренцева моря, Карского моря, моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря.

Высокоширотный вариант маршрута в обход Новой Земли через мыс Желания в данной работе не рассматривался, поскольку даже в летний период там наблюдается значительно более тяжёлая ледовая обстановка, что делает его нецелесообразным для буксировки крупногабаритных объектов [7].

Схема рассматриваемого маршрута показана на рис. 1.

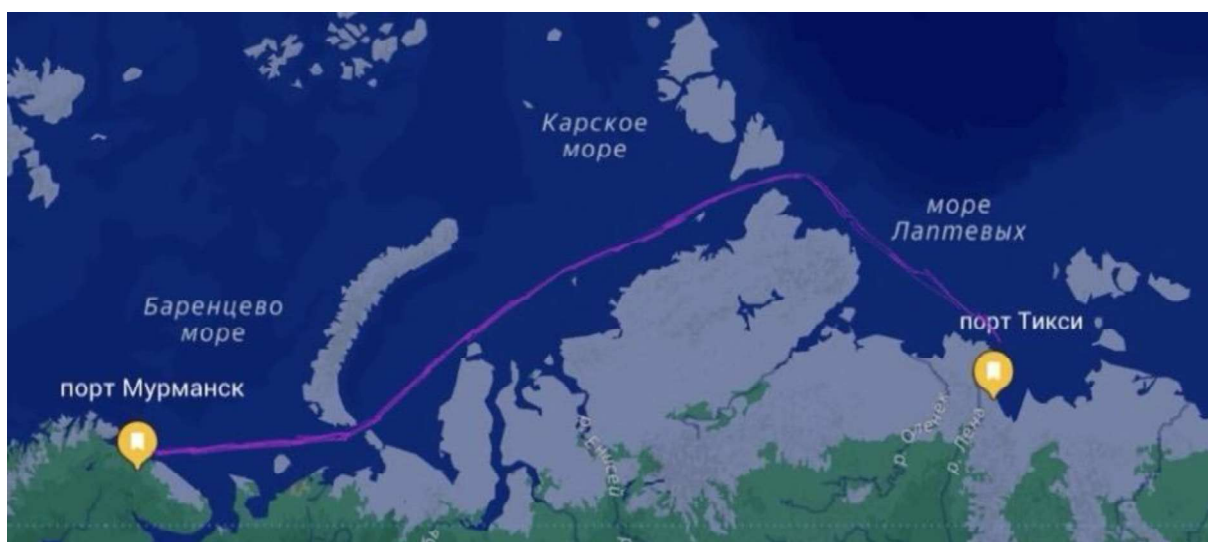


Рис.1. Схема маршрута доставки платформы из п. Мурманск в п.Тикси

Для оценки возможности доставки использовался многокритериальный подход, опирающийся на модель перехода судна по маршруту, предложенную в работе [8]. Данная модель связывает характеристики судна и параметры маршрута через систему показателей навигационной безопасности, позволяя комплексно оценить риски.

В обобщённом формализованном виде реализация проекта перехода судна S по маршруту R задаётся выражением:

$$F = F(f_1, f_2, f_3),$$

где F – общий показатель навигационно-гидрографической безопасности маршрута;

d – осадка судна;

$h_{\text{лп}}$ – ледовая проходимость судна;

B_0 – ширина полосы безопасного маневрирования судна;

Z – глубина;

$h_{\text{ф}}$ – толщина льда фактическая;

$B_{\text{ф}}$ – ширина фарватера фактическая;

F_1 – показатель безопасности по глубине;

F_2 – показатель безопасности по ледопроеходимости;

F_3 – показатель безопасности по стеснённости.

Частные показатели безопасности зависят от соотношения характеристик судна S и параметров судоходного маршрута R . В зависимости от соотношения характеристик судна S и параметров маршрута R множество маршрутов состоит из трёх подмножеств: $R_{\text{оп}}$ – маршруты опасные; $R_{\text{б}}$ – маршруты безопасные; $R_{\text{об}}$ – маршруты относительно безопасные. Классификация подмножеств маршрутов выполняется по критерию безопасности F , численное значение которого устанавливается на интервале от 0 до 1.

В рамках данной работы применялся упрощённый бинарный подход: маршрут считается проходным (безопасным), только если одновременно выполняются все три критерия ($F=1$). Если хотя бы одно условие нарушается, маршрут признаётся опасным ($F=0$).

Критерий f_1 отвечает за достаточность глубины. Он выполняется, если фактическая глубина Z не меньше суммы осадки судна d и требуемого запаса под килем:

$$F_1 = 1, \text{ если } Z \geq d + h_{\text{запаса}}$$

$$F_1 = 0, \text{ если } Z < d + h_{\text{запаса}}.$$

Для платформы с осадкой 5,6 м и учетом запаса безопасности (не менее 2 м с учётом волнения и погрешностей измерений), минимально допустимая глубина составляет около 7,6–10 м.

Критерий f_2 требует, чтобы фактическая толщина льда h_f не превышала ледовую проходимость судна $h_{пр}$:

$$F_2 = 1, \text{ если } h_f \leq h_{пр}$$

$$F_2 = 0, \text{ если } h_f > h_{пр}$$

При буксировке без ледокола допустимая толщина ровного льда не превышает 0,3–0,5 м. В составе каравана с ледокольным обеспечением возможно преодоление льдов толщиной до 1,5–2,0 м.

Критерий f_3 , связанный со стеснённостью, выполняется, если фактическая ширина прохода B_f не меньше ширины полосы безопасного маневрирования B_0 :

$$F_3 = 1, \text{ если } B_f \geq B_0$$

$$F_3 = 0, \text{ если } B_f < B_0$$

Для крупногабаритного буксируемого объекта ширина безопасной полосы маневрирования принимается с учётом габаритов и инерционных характеристик, составляя не менее 150 м.

Данные о глубинах, толщине льда и ширине фарватера по месяцам брались из гидрографических карт и ледовых атласов Арктического и антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ). Моделирование велось в предположении, что на момент прохождения участка состояние среды остаётся неизменным (статическая постановка). Гидрометеорологические факторы – ветровое волнение, течения – в явном виде не учитывались в данной модели, так как это слишком хаотичные величины, подверженные быстрым изменениям; их детальный анализ представляет собой отдельную сложную задачу и может быть выполнен в рамках дальнейших исследований. Отдельно стоит отметить, что на пути могут встретиться стамухи и айсберги, способные полностью перегородить фарватер, особенно при плохой видимости [8].

Анализ сезонных сценариев выполнялся для двух основных навигационных периодов: летне-осеннего (благоприятного) и зимне-весеннего (неблагоприятного).

Расчёты показали, что в летне-осенний период с июля по октябрь все три критерия выполняются на всём маршруте. Глубины на трассе, за исключением подходного фарватера Тикси (где они составляют около 6 м, а у причалов – до 5,8 м), превышают 10 м и не создают критических ограничений. Толщина льда в июле–августе близка к нулю, акватория практически полностью очищается. В сентябре–октябре начинается формирование молодого льда не более 0,3–0,5 м, однако сохраняются разводья и умеренная сплочённость, что позволяет буксировке продолжаться. Ширина прохода везде достаточна для безопасного маневрирования. Погодные условия в этот период относительно стабильны: скорость ветра в июле–августе обычно не выше 10 м/с, в сентябре–октябре немного растёт, но волнение остаётся умеренным, видимость хорошая. Поэтому июль–октябрь можно считать наиболее подходящим и безопасным временем для проводки платформы.

Зимне-весенний период охватывает ноябрь, декабрь, январь, февраль, март, апрель, май и июнь. Уже в ноябре ледовая обстановка резко ухудшается: толщина льда увеличивается до 0,5–1,0 м, сплочённость растёт до 7–9 баллов, появляются обширные дрейфующие поля. В ноябре–феврале критерий по ледовой проходимости нарушается – платформа не может идти без ледокола. В марте и апреле ситуация становится критической: толщина льда достигает максимальных значений (1,5–2,0 м и более), образуются мощные торосы, стамухи, ледовые

сжатия сужают проходы, то есть одновременно не выполняются и ледовый критерий, и критерий стеснённости. Даже при проводке атомным ледоколом вероятность успешного прохождения оказывается очень низкой из-за риска повреждения буксируемого объекта. В мае–июне начинается медленное таяние, однако до середины лета сохраняется много остаточного льда, а значит, надёжное плавание всё ещё невозможно. Погодные условия в этот период также неблагоприятны: частые штормы с ветром более 20 м/с, высота волны на открытых участках достигает 4–5 м, видимость падает из-за снежных зарядов, температуры опускаются ниже -30°C .

Таким образом, моделирование подтверждает, что доставка платформы в Тикси технически возможна, но лишь при жёстком соблюдении сезонных рамок. Самым безопасным и рациональным по затратам является летне-осенний период (июль–октябрь). На основании этого можно сформулировать несколько практических рекомендаций. Перевозку следует планировать только на указанные месяцы. На всех этапах рейса необходимо вести непрерывный мониторинг ледовой обстановки с помощью спутниковых снимков и воздушной разведки. На участках, где глубины менее 12 м, обязательно проверять актуальность гидрографических данных [6]. Для проводки в ноябре и далее требуется мощное ледокольное обеспечение; в марте–апреле операцию целесообразно исключить из-за предельных ледовых нагрузок. Маршрут должен оставаться гибким, чтобы его можно было оперативно корректировать при изменении ледовой или погодной ситуации. Платформа должна иметь необходимые ледовые подкрепления и быть полностью готова к эксплуатации в арктических условиях.

Выводы

Имитационное моделирование позволило комплексно оценить условия доставки плавучей буровой платформы в порт Тикси, выявив ключевую зависимость успешности операции от сезонности. Результаты расчётов подтверждают, что безопасная и экономически целесообразная доставка возможна исключительно в летне-осенний период, при этом наиболее предпочтительными месяцами являются июль и октябрь, когда ледовая обстановка минимальна, а гидрометеорологические условия стабильны.

Зимне-весенний период, охватывающий время с ноября по июнь, характеризуется критическими рисками. В это время ледовая обстановка и стеснённость фарватеров делают навигацию невозможной без мощного ледокольного сопровождения, а в период максимального ледообразования (март–апрель) риски становятся запредельными даже при поддержке атомных ледоколов. Моделирование показало, что попытка проведения операции в этот период сопряжена с высокой вероятностью повреждения платформы и срыва сроков доставки.

На основе полученных данных сформулированы практические рекомендации по планированию перевозки. Ключевым условием является строгое соблюдение сезонных окон навигации и обеспечение непрерывного мониторинга ледовой обстановки с использованием спутниковых данных и авиаразведки. Особое внимание следует уделять гидрографическому обеспечению на мелководных участках подходного фарватера порта Тикси. Дальнейшие исследования целесообразно направить на уточнение гидрографических данных в припортовой акватории и создание детальных навигационных инструкций для крупногабаритных объектов, а также на разработку моделей, учитывающих динамические гидрометеорологические факторы.

Литература

1. **Чистяков Г.Е., Русских О.В.** Опыт транспортировки плавучего энергоблока «Академик Ломоносов» // Арктика: экология и экономика. 2021. № 2. С. 54-62.
2. Федеральный закон от 08.08.2024 № 233-ФЗ «О внесении изменений в статью 4 Федерального закона «О морских портах в Российской Федерации» и статью 2 Федерального закона «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части создания и функционирования международных морских портов в Арктической зоне Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. 2024. № 33 (часть I). Ст. 5079.
3. Правительство России расширило границы морского порта Тикси [Электронный ресурс] // Официальный сайт Правительства РФ. URL: <http://government.ru/docs/52506/> (дата обращения: 13.05.2026).
4. План развития Северного морского пути на период до 2035 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 01.08.2022 № 2115-п) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_424381/ (дата обращения: 13.05.2026).
5. **Крутиков А.** Дальневосточные порты становятся международными [Электронный ресурс] // РБК. 30.08.2024. – URL: <https://www.rbc.ru/politics/30/08/2024/66d1a36d9a7947db51fa2d7> (дата обращения: 13.05.2026).
6. **Клюшников Ю.М.** Гидрографическое обеспечение судоходства: учебник. СПб.: ГУМРФ, 2020. 336 с.
7. Администрация Северного морского пути. Статистика грузоперевозок [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.nsra.ru> (дата обращения: 13.05.2026).
8. **Андреева Е.В.** Многокритериальный подход выбора оптимальных маршрутов судов на Северном морском пути // Вестник ГУМРФ. 2021. № 3. С. 399-408.
9. Правила плавания в акватории Северного морского пути: Постановление Правительства РФ от 18 сентября 2020 г. N 1487 (в ред. Постановления Правительства РФ от 19.09.2022 № 1650). – URL: <https://docs.cntd.ru/document/565820314> (дата обращения: 03.05.2026).