

УДК 656.022:656.612

DOI: 10.15587/2312-8372.2019.169423

РОЗРОБКА МЕТОДУ ЩОДО ВИБОРУ СПОСОБУ ТРАНСПОРТУВАННЯ СИРОВИНИ ВІД МОРСЬКИХ БУРОВИХ ПЛАТФОРМ ДО БЕРЕГОВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Акімова О. В., Кравченко О. А.

1. Вступ

За даними [1] до кінця 2017 р. світове споживання нафти збільшилося на 1,8 % або 1,7 млн. барелів на день, що вище, ніж в середньому на 1,2 % за останні 10 років. Видобуток нафти збільшився на 0,6 млн. барелів на день. При збереженні існуючих темпів споживання нафти і газу вистачить більш ніж на 54 і 52 роки відповідно, а з урахуванням щорічного збільшення світових доведених запасів нафти і газу за рахунок відкриття нових родовищ як на суші, так і на морі, вуглеводневої сировини вистачить людству на більш тривалий період часу. Однак, добувати нафту і газ з кожним роком стає все складніше. Світовий видобуток нафти на суші з родовищ з традиційними колекторами знижується в середньому на 2–6 % на рік [2].

Для забезпечення зростаючого попиту на енергоносії нафтогазодобувним компаніям все частіше доводиться вводити в розробку родовища, з яких важко вилучаються запаси. Такими являються морські та шельфові родовища. Для їх рентабельної та екологічно безпечної експлуатації потрібне створення нових і постійне вдосконалення існуючих технік і технологій видобутку.

На сьогоднішній день 20 % світових запасів нафти і 45 % запасів газу розташовані на світовому шельфі. Велика частина великих запасів природного газу були виявлені у відкритому морі, особливо на глибоководних і понад глибоководних шельфах. Так, кількість нафтових та газових платформ у 2010 р. становила 270 одиниць, а у 2030 р. ця кількість буде становити 618 одиниць [3].

Відповідно до даних Французької асоціації Petroleum (IFP EN) [4], найбільш перспективними зонами для морських нафтових і газових родовищ є шельфи Бразилії і Західної Африки, континентальні околиці Східної Африки, особливо в Мозамбіку і в Танзанії. Є також багато інших можливостей в Мексиканській затоці, Середземноморському регіоні, Австралії і в Арктичному регіоні.

В Україні видобування нафти та газу на шельфах морів організує компанія Укргаздобича, яка розраховує почати розвідувальне буріння на шельфі Чорного моря в 2019–2020 рр. і вийти на промисловий видобуток на початку 2021 р. До 2020 р. Укргаздобича планує вкласти 3 млрд. дол. в закупівлю і модернізацію нового обладнання для видобутку нафти і газу [5].

Виходячи з вищесказаного, актуальним є дослідження, що стосуються прийняття рішення щодо вибору способу транспортування вуглеводнів від морських бурових платформ до берегових резервуарів при розробці родовищ в шельфах морів.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є процес транспортування добутих копалин від морських бурових платформ (МБП) в шельфах морів до берегових резервуарів.

Для доставки видобутих нафти і газу від місця видобутку до берегової інфраструктури використовуються наступні технічні засоби:

- система трубопроводів;
- шаттл-танкер;
- барже-буксирні судна.

В даний час широко використовуються *системи трубопроводів* при освоєнні морських нафтогазових родовищ діаметром до 1220 мм на глибинах до 130 м. Спроектвані трубоукладальники для глибин до 600 м. Для цього було використано трубоукладальні судна (pipelay vessels – PV) – спеціалізоване судно, призначене для прокладки підводних трубопроводів. Корпус трубоукладача має спрощену форму. Іноді в трубоукладальники переобладнують баржі або судна іншого типу. Перспективні корпусу катамаран типу або з стабілізуючими колонами, особливо для експлуатації в районах з суворими погодними умовами.

Технологія укладання підводного трубопроводу з трубоукладальника полягає в нарощуванні його шляхом послідовної приварки секцій труб, що знаходяться на палубі. При невеликих глибинах для переміщення трубопроводу з палуби до морського дна використовують криволінійний спусковий пристрій, за яким нарощуваний трубопровід переміщують від корми судна на дно в міру приварювання нових секцій труб. Зі збільшенням глибини моря на кормі судна встановлюють додаткову шарнірну опору-стрінгер для підтримки трубопроводу при русі вниз і для запобігання великих вигинів його при виході з судна.

Шаттл-танкер, танкер-човник, також званий «плавучим трубопроводом» (Floating Pipeline), служить для транспортування сирової нафти з нафтових платформ до нафтохранищ і нафтопереробних заводів на березі. Як правило, шаттл-танкери обладнані складною спеціалізованою вантажною системою, розташованою в носовій частині судна, що дозволяє приймати нафту з офшорних об'єктів навіть у важких погодних умовах. Шаттл-танкери відрізняються наявністю двох або трьох носових підрулюючих пристроїв, а також кормових, та забезпечуються гребним гвинтом регульованого кроку. Конструкція корпусу значно посилена. Довжина може складати близько 230–270 м. До цих танкерів пред'являються більш жорсткі вимоги і стандарти, відповідні офшорній індустрії.

В *барже-буксирних суднах* (ББС) морського призначення використовується інноваційне напівжорстке «морське» зчеплення, яке зберігає працездатність при хвилі до 7 м. Для доставки вуглеводнів від МБП до берегової інфраструктури використовують спеціалізовані баржі-газовози та баржі-бунери.

При використанні ББС необхідно застосовувати якісно новий рівень організації роботи при перевезенні вуглеводнів в шельфах морів, а саме, коли один буксир-товкач обслуговує 2–3 баржі. Такий підхід називається «drop-and-swor» [6].

Одним з найбільш проблемних місць є необхідність вибору засобів транспорту і способу транспортування добутих вуглеводнів від морських бурових платформ до берегової інфраструктури.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – розробити методичний підхід щодо обґрунтування способу транспортування нафти від морських бурових платформ в шельфах морів до берегових споруд.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Визначити критерії вибору технічних засобів для доставки вуглеводнів від МБП до берегової інфраструктури.
2. Сформулювати критерій вибору способу транспортування та технічних засобів.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Питання, пов'язані з вибором транспортування нафти з місць видобутку в шельфах морів до місць переробки розглядалися в роботах багатьох вчених. Так, в роботі [7] розглянуто метод вибору виду транспорту для транспортування нафти на експорт. При цьому критерії враховують капітальні витрати на придбання або будівництво засобів транспортування нафти на експорт при наземному її видобутку. В цій роботі зазначено, що розглядати декілька або цілий ряд варіантів способів доставки слід лише пронумерувавши їх по зростанню капітальних або експлуатаційних витрат та розглядати варіанти, при яких зростання капітальних витрат компенсується зниженням експлуатаційних. При цьому, в роботі не враховується, що вибір технічних засобів повинен виконуватися не за абсолютними, а за відносними показниками, такими як собівартість або приведені витрати. В роботі [8] розроблено математичне моделювання складу човникових танкерів, барже-буксирного складу, магістрального транспортного трубопроводу, односточного рейдового причалу і плавучого сховища. При цьому, основним критерієм оптимальності прийнято приведені витрати, але розглядається лише спосіб будівництва суден.

Критерії вибору варіантів на морському транспорті формуються системою економічних показників. У роботі [9] підкреслюється, що вибір виду транспорту проводиться за відносним економічними показниками. При цьому, в теоретичному аспекті, для досягнення оптимального результату, критерії або максимізуються, або мінімізуються.

Основні напрямки розвитку технології видобутку нафти і газу в шельфах морів розглянуті в роботі [10]. При цьому, недостатньо уваги приділяється вибору способу транспортування вуглеводнів від морських бурових платформ до берегової інфраструктури.

Циклічна робота баржі-буксирних суден, розглянута в джерелі [6], але в ньому відсутня методика розрахунку показників роботи ББС по циклічному принципу. В роботі [11] розглянуті практичний аспект транспортування нафти трубопроводним транспортом в шельфах морів. Визначено, що швидкість транспортування залежить від в'язкості нафти, яка в свою чергу залежить від температури в трубопроводі.

Загальна теорія запасів в офшорній індустрії розглянута в роботі [12]. Проте належної уваги визначення критеріїв для вибору способу транспортування видобутої сировини не приділено. Методи вибору оптимального варіанта нафтогазопромислових платформ для освоєння шельфу розглянуті в роботі [13]. Зокрема, в цій роботі була вироблена пріоритетність гідрометеорологічних, інженерно-геологічних, геолого-технологічних, промислово-виробничих і екологічних факторів, що впливають на вибір типу морської нафтогазопромислової гідротехнічної споруди. Проте, не розглянуто спосіб транспортування, як фактор, який впливає на вибір платформ. А у роботі [14] показано, що проектування морської нафтогазопромислової гідротехнічної споруди має багатоцільовий характер, яке повинно здійснюватися як багатокритеріальний процес оптимізації з використанням таких основних критеріїв, як «функціональність», «економічність», «міцність», «безпека», «екологічність». Але не розкрито, якими показниками вимірюються ці критерії.

Розвиток технологій і технічних засобів для видобутку нафти і газу на морських арктичних родовищах розглянуті в роботі [15]. В цій роботі представлені основні трубопровідні системи для доставки вуглеводневої сировини з морських арктичних родовищ та виявлено основні проблеми їх проектування і спорудження. Але в роботі не приділяється увага іншим способам доставки сировини від МБП до берегової інфраструктури.

Оцінка економічної ефективності форм залучення інвестицій в пошуки, розвідку і видобуток нафти і газу виконана за рахунок розробленої технології стратегічного управління розвитком нафтогазової компанії, заснованої на апробованих схемах «дерева мети» [16]. Однак, в роботі [16] розглядається інвестування в технічні засоби без попереднього обгартування типу засобу.

В умовах того, що в шельфах морів з МБП здійснюється видобуток як нафти, так і газу, були вивчені підходи до організації перевезення газів морським транспортом, розкриті в дослідженнях [17]. Запропонований в цих дослідженнях спосіб транспортування газу дозволяє відмовитися від суднової установки для реконденсації газу, що дає можливість розглядати організацію доставки газу на баржі-буксирні судна. Але в цих дослідженнях відсутнє обґрунтування доставки газу залежно від відстані морської бурильної платформи.

Таким чином, результати літературного аналізу дозволяють зробити висновок про те, що дослідження щодо обґрунтування способу транспортування нафти від морських бурильних платформ в шельфах морів до берегових споруд є перспективним та потребує подальшого вивчення.

5. Методи досліджень

Для прийняття рішень щодо вибору способу транспортування вуглеводнів від МБП до берегової інфраструктури користуються методами варіантів, або математичними методами оптимізації.

Вибір того чи іншого виду транспорту для транспортування вуглеводнів від місця видобутку до морської берегової інфраструктури відноситься, як правило, до багатокритеріальної задачі [18–20].

При вирішенні багатокритеріальної задачі часто виникає необхідність нормалізації (нормування) критеріїв, тобто приведення всіх критеріїв $f_k(X)$ до єдиного масштабу і безрозмірного вигляду. Найбільш часто використовується заміна критеріїв їх безрозмірними відносними величинами:

$$\lambda_k(X) = \frac{f_k(X)}{f_k^*}, \quad (1)$$

де $f_k^* = \max_{X \in D} f_k(X)$.

Нормалізовані критерії володіють двома важливими властивостями: по-перше, вони є безрозмірними величинами, і, по-друге, вони задовольняють нерівності $0 \leq \lambda_k(X) \leq 1$ для будь-якого $X \in D$. Ці властивості дозволяють порівнювати критерії між собою [21–23].

Вживаний спосіб звести багатокритеріальну задачу до однокритеріальної – це виділити один (головний, основний) критерій F_1 і прагнути його обернути в максимум (мінімум), а на решту критеріїв F_2, F_3, \dots, F_m , накласти лише деякі обмеження, не менше (більше) якихось заданих величин. Таким чином, ідея методу головного критерію полягає в тому, що окремі критерії зазвичай нерівнозначні між собою (одні з них більш важливі, ніж інші) і це дозволяє виділити головний критерій, а інші критерії розглядати як додаткові, супутні. Конкретні значення даних додаткових обмежень можуть бути встановлені, наприклад, за допомогою статистичних методів, або експертним шляхом на підставі неформальних міркувань. Така відмінність дозволяє сформулювати завдання багатокритеріальної оптимізації як задачу знаходження умовного екстремуму основного (головного) критерію.

Однак даному методу притаманний ряд фундаментальних недоліків. Перш за все, даний метод значно спрощує структуру вихідної задачі, не враховує різницю в значеннях критеріїв, переведених у розряд обмежень. Крім того, досить важким завданням є формулювання обмежень на значення менш важливих критеріїв [24].

6. Результати дослідження

Для визначення критерію вибору способу транспортування потрібно сформулювати показник питомих витрат для кожного способу доставки, залежно від відстані МБП до БІ (берегової інфраструктури). Для цього визначимо та проаналізуємо технічні засоби для кожного способу доставки вуглеводнів від МБП до берегової інфраструктури (табл. 1).

Можна виділити два способи придбання технічних засобів для транспортування вуглеводнів – це оренда та купівля. При трубопровідному способі транспортування два види капіталовкладень – оренда судно-трубоукладальника та купівля труби. При використанні барже-буксирних суден та шаттл-танкера розглядається один з можливих способів – оренда або купівля (рис. 1).

Таблиця 1

Переваги та недоліки способів транспортування копалин від морських бурових платформ до берегових резервуарів

Спосіб транспортування вуглеводнів від морських бурових платформ до берегової інфраструктури	Технічні засоби, що задіяні при транспортуванні	Переваги способу транспортування	Недоліки способу транспортування
Трубопровідний	Судно-трубоукладальник Труби для транспортування	Не потребує виплат по оренді труби. Орендується лише трубоукладальник. Не залежить від погодних умов	Використовується при глибинах до 600 м. Обмеження по максимальній відстані транспортування. Великі одноразові капіталовкладення в придбання труби та її устаткування. Неможливість використання після закриття родовища
Баре-буксирні судна	Спеціалізовані баржі: баржі-газовози, баржі-бункери. Буксири	Баржі та буксири можуть бути взяті в оренду, або придбанні. Низькі експлуатаційні витрати. Маленька чисельність екіпажу (2–3). Короткий стоянковий час на заміну барж в порту. Можливість роботи при висоті хвиль до 2 м	Залежність від погодних умов. Обмежена відстань роботи від берега. Обмежена вантажопідйомність однією баржою в одній ходці (5 тис. т)
Шаттл-танкери	Шаттл-танкери	Можуть бути орендовані або придбанні. Вантажопідйомність обмежується характеристиками ділянки. Не мають обмежень по максимальній відстані транспортування. Зниження питомих експлуатаційних витрат при збільшенні дальності транспортування	Висока вартість орендної ставки. Висока вартість капіталовкладень при будівництві. Висока вартість експлуатаційних витрат



Рис. 1. Етапи формування критерію для вибору способу транспортування:
ББС – барже-буксирне судно

Відповідно, при купівлі всіх трьох засобів транспортування, в якості критерію для вибору способу транспортування доцільно використовувати показник приведених витрат, який складається з питомих експлуатаційних витрат та питомих капітальних вкладень.

Загальна формула для визначення витрат при транспортуванні вантажів має вигляд:

$$R_{\text{заг}} = C_x \cdot t_x + C_{\text{ст}} \cdot t_{\text{ст}}, \quad (2)$$

де C_x , $C_{\text{ст}}$ – добові витрати по транспортному засобу на ходу та на стоянці, відповідно, дол./добу; t_x , $t_{\text{ст}}$ – час рейсу транспортного засобу, доба.

Розглянемо приведені витрати для випадку придбання транспортних засобів двома способами: при умові купівлі та при умові оренди.

Добові витрати на ходу складаються з наступних елементів:

$$C_x = C_{\text{пост}} + C_x^{\text{змінні}} + C_x^{\text{адм}}, \quad (3)$$

де $C_{\text{пост}}$ – добові постійні витрати, дол./добу; $C_x^{\text{змінні}}$ – добові змінні на ходу, дол./добу; $C_x^{\text{адм}}$ – добові змінні адміністративні, дол./добу.

Добові витрати на стоянці:

$$C_{\text{ст}} = C_{\text{пост}} + C_{\text{ст}}^{\text{змінні}} + C_{\text{ст}}^{\text{адм}}, \quad (4)$$

де $C_{\text{ст}}^{\text{змінні}}$ – добові змінні витрати на стоянці, дол./добу.

Прямі постійні витрати $C_{пост}$ визначаються як сума статей:

– при купівлі транспортних засобів:

$$C_{пост} = K_{страх} \cdot C_a + C_p + C_n + C_e, \quad (5)$$

де $K_{страх}$ – коефіцієнт, що враховує витрати на страхування судна; C_a , C_p , C_n – добові витрати на амортизацію, ремонт, постачання, дол./добу; C_e – середньодобові витрати на утримання екіпажу, дол./добу;

– при оренді транспортних засобів:

$$C'_{пост} = f_o + C_n + C_e + C_{порт}, \quad (6)$$

де f_o – ставка оренди, дол./добу.

Змінні витрати однакові при обох способах придбання:

– на ходу:

$$C_{змінні}^x = q_n^x \cdot \Pi_n^x \cdot k_{зм}, \quad (7)$$

де q_n^x – витрати палива на ходу, т/добу; Π_n^x – ціна палива, дол./т; $k_{зм}$ – коефіцієнт змащування;

– на стоянці:

$$C_{змінні}^{cm} = q_n^{cm} \cdot \Pi_n^{cm} \cdot k_{зм}, \quad (8)$$

де q_n^{cm} – витрати палива на стоянці, т/добу; Π_n^{cm} – ціна палива, дол./т; $k_{зм}$ – коефіцієнт змащування.

Загальні витрати при оренді суден:

$$R'_{заг} = C'_x \cdot t_x + C'_{cm} \cdot t_{cm}. \quad (9)$$

Всі складові розраховуються за відомими формулами [9, 18].

В якості критерію вибору транспортного засобу для транспортування сировини від морської бурової платформи (МБП) до берегової інфраструктури (БІ) використовуємо показник питомих витрат, у доларах за тонно-милю.

Розглянемо формування показника питомих витрат для кожного способу доставки сировини: трубопровідного, барже-буксирного та шаттл-танкерами.

Для трубопровідного способу доставки використовуються судно-трубоукладацький, який придбається на умовах тайм-чартеру, та безпосередньо капітальні вкладення для придбання труби.

До капітальних витрат по прокладці трубопроводу по дну шельфу відносяться: вартість обладнання, матеріалів, робіт зі спорудження об'єкта.

Попередньо, для розрахунку витрат потрібно визначити діаметр труби, який залежить від запланованої пропускної спроможності родовища. Визначаються капітальні витрати на лінійну частину для даного діаметра трубопроводу і капітальні витрати на насосні станції, а також експлуатаційні витрати на ремонт. Потім формується показник приведених витрат.

Питомі капітальні витрати при трубопровідному транспорті [6]:

$$K_{mp} = C_m L, \quad (10)$$

де C_m – питома вартість трубопроводу, дол./м; L – довжина трубопроводу, м;

Таким чином, в якості критерію вибору для трубопровідного способу транспортування приймається показник приведених витрат в тонно-милях, який визначається за формулою:

$$S'_{QL} = \frac{R'_{zag} + E \cdot 1000 \cdot K_{mp}}{QL}, \text{ дол./т-м}, \quad (11)$$

де Q – кількість вуглеводнів, що планується добувати за рік, т; L – загальний пробіг тоннажу від МБП до берегової інфраструктури та у зворотному напрямку, м; E – коефіцієнт питомих капіталовкладень.

Або, якщо підставити у формулу вираз (10) та виконати перетворення, то отримаємо наступний вид критерію:

$$S'_{QLm} = \frac{R'_{zagm}}{QL} + \frac{C_m}{Q}, \text{ дол./т-м}. \quad (12)$$

При транспортуванні шаттл-танкером, та барже-буксирними суднами будемо розглядати лише придбання суден в оренду.

Показник питомих витрат:

– для шаттл-танкерів:

$$S'_{QLu-m} = \frac{R'_{zag_{u-m}}}{QL}, \quad (13)$$

де $R'_{zag_{u-m}}$ – загальні витрати по шаттл-танкеру, що експлуатується на умовах оренди;

– для барже-буксирних суден загальні витрати визначаються не за час рейсу, а за цикл роботи з однією баржою [6], тому формула буде мати наступний вигляд:

$$R'_{zag_{ББС}} = R'_{zag_{Буксир}} + R'_{zag_{Баржа}} \quad (14)$$

де $R'_{заг\text{Буксир}}$ – загальні витрати по буксиру, дол.; $R'_{заг\text{Баржі}}$ – загальні витрат по баржі, дол.:

$$R'_{заг\text{ББС}} = n_x \left(C'_x{}^{\text{Буксир}} \cdot t_x^{\text{Буксир}} + C'_{ст}{}^{\text{Буксир}} \cdot t_{ст}^{\text{Буксир}} \right) \cdot n^{\text{Буксир}} + C'_{Барж} \cdot T_u \cdot n^{\text{Барж}}, \quad (15)$$

де $C'_x{}^{\text{Буксир}}$, $C'_{ст}{}^{\text{Буксир}}$ – собівартість утримання буксирів на ходу та на стоянці, дол./добу, розраховується за формулами (3), (4);

$C'_{Барж}$ – собівартість утримання баржі, дол./добу.;

$n^{\text{Буксир}}$, $n^{\text{Барж}}$ – кількість барж та буксирів, що необхідні для роботи по циклу;

n_x – кількість ходок буксира за цикл;

T_u – час циклу роботи барже-буксирної пари, доба.

Собівартість утримання баржі:

$$C'_x{}^{\text{Баржі}} = C_{пост} + C'_x{}^{\text{адм}}. \quad (16)$$

Кількість барж та буксирів, що необхідні для роботи по циклу визначається при роботі барже-буксирних складів по принципу «drop&swop» [6]. Робота організовується таким чином, щоб всі судна і вантажно-розвантажувальне обладнання на причалах могли працювати без перерв, і дотримується співвідношення:

$$[n_B] + [N_{МП}] = [n_{БЦ}]. \quad (17)$$

Кількість барж-цистерн можна розрахувати за формулою:

$$n_{Ц} = \frac{Q_m}{q \cdot \rho \cdot r_{Ц}}, \quad (18)$$

де Q_m – кількість вуглеводнів, що підлягають транспортуванню протягом року, т; q – місткість однієї цистерни, т; ρ – щільність продукту, т/м³; $r_{Ц}$ – цикл (число обертів за рік) баржі-цистерни; $N_{МП}$ – кількість морських видобувних платформ.

Кількість циклів визначається за формулою:

$$r_{Ц} = \frac{365}{T_u}, \quad (19)$$

де T_u – повний час обороту однієї цистерни за добу.

Період циклу визначається варіантом роботи барже-буксирного складу. При варіанті роботи «2 штовхача + 3 баржі» час циклу розраховується за формулою:

$$T_u = (3 \cdot T_{x_{T \text{ з БЦпор}}} + 3 \cdot T_{x_{T \text{ з БЦнав}}}) + T, \quad (20)$$

де $T_{x_{T \text{ з БЦпор}}}$, $T_{x_{T \text{ з БЦнав}}}$ – час переходу штовхача з порожньою і навантаженою баржею-цистерною, відповідно; 3 – означає, що за цикл баржа виконує три ходки в кожен бік; ΔT – різниця між стоянковим часом штовхача і цистерни:

$$T = (3 \cdot (T_{cm_{нав.Ц}} - T_{x_{T \text{ з БЦпор}}}) + 3 \cdot (T_{cm_{вив.Ц}} - T_{x_{T \text{ з БЦнав}}})) \quad (21)$$

де $T_{cm_{нав.Ц}}$, $T_{cm_{вив.Ц}}$ – час стоянки цистерни під навантаженням і розвантаженням, доба.

Таким чином, критерій визначення ефективності транспортування барже-буксирними суднами має наступний вигляд:

$$S'_{ББС} = \frac{R'_{загББС}}{QL} = \frac{n_x (C'_{Буксир} \cdot t_{x_{Буксир}} + C'_{ст} \cdot t_{ст_{Буксир}}) \cdot n_{Буксир} + C'_{Барж} \cdot T_u \cdot n_{Барж}}{QL} \quad (22)$$

У формулу (22) підставимо значення часу на ходу:

$$t_x = \frac{l_{зв}}{V_e}, \quad (23)$$

де $l_{зв}$ – дальність перевезень з вантажем, км; V_e – експлуатаційна швидкість буксирів, км/добу.

Стоянковий час визначається за формулою:

$$t_{cm} = \frac{2Q}{\overline{M}_e}, \quad (24)$$

де \overline{M}_e – середньозваженні норми обробки суден та барж в портах, т/добу.

Для шаттл-танкера:

$$\frac{C'_{\text{Барж}} \cdot 3 \cdot \frac{l_{\text{зв}}}{V_{e \text{ у}}} \cdot n_{\text{Барж}}}{QL} = \frac{n_x \cdot n_{\text{Буксир}} (C'_x \text{ Буксир} + 3C'_x \text{ Барж})}{QV_e} + \frac{2n_x \cdot n_{\text{Буксир}} \cdot C'_{\text{ст}} \text{ Буксир}}{\overline{M}_g L} = S_{\text{ББС}}^X + S_{\text{ББС}}^{\text{ст}}, \quad (25)$$

де $S_{\text{ББС}}^X$ – ходова складова собівартості перевезень для ББС, дол./т-м; $S_{\text{ББС}}^{\text{ст}}$ – стоянкова складова собівартості перевезень, для ББС, дол./т-м:

$$S_{\text{ББС}}^X = \frac{n_x \cdot n_{\text{Буксир}} (C'_x \text{ Буксир} + 3C'_x \text{ Барж})}{QV_e}.$$

Стоянкова складова собівартості перевезень:

$$S_{\text{ББС}}^{\text{ст}} = \frac{2n_x \cdot n_{\text{Буксир}} \cdot C'_{\text{ст}} \text{ Буксир}}{\overline{M}_g L}. \quad (26)$$

Аналогічно перетворюємо формулу питомих витрат для шаттл-танкера. Підставимо у формулу значення часу на ходу і на стоянці та позначимо кількість вантажів через чисту вантажопідйомність, отримаємо наступну формулу:

$$S'_{\text{ш-т}} = \frac{C_x}{QV_e} + \frac{2C_{\text{ст}}}{\overline{M}_g L} = S'_{\text{ш-т}}{}^x + S'_{\text{ш-т}}{}^{\text{ст}}, \quad (27)$$

де $S'_{\text{ш-т}}{}^x$ – ходова складова собівартості перевезень для ББС, дол./т-м; $S'_{\text{ш-т}}{}^{\text{ст}}$ – стоянкова складова собівартості перевезень для ББС, дол./т-м.

Визначимо граничне значення відстані для вибору між барже-буксирним способом доставки та шаттл-танкером за допомогою методу рівнозначних величин. Порівняємо собівартість транспортування сировини ББС та шаттл-танкером:

$$S'_{\text{ш-т}}{}^x + S'_{\text{ш-т}}{}^{\text{ст}} = S_{\text{ББС}}^X + S_{\text{ББС}}^{\text{ст}}, \quad (28)$$

$$S'_{\text{ш-т}}{}^x - S_{\text{ББС}}^X = S_{\text{ББС}}^{\text{ст}} - S'_{\text{ш-т}}{}^{\text{ст}}, \quad (29)$$

$$\frac{C_x}{QV_e} - \frac{n_x \cdot n_{\text{Буксир}} (C'_x \text{ Буксир} + 3C'_x \text{ Барж})}{QV_e} = \frac{2n_x \cdot n_{\text{Буксир}} \cdot C'_{\text{ст}} \text{ Буксир}}{\overline{M}_g L} - \frac{2C_{\text{ст}}}{\overline{M}_g L}. \quad (30)$$

Після перетворень отримаємо критичне значення L , біля якого слід використовувати шаттл-танкери:

$$L = \frac{QV_e(2n_x \cdot n^{\text{Буксир}} \cdot C_{\text{ст}}^{\text{Буксир}} - 2C_{\text{ст}})}{\overline{M}_e(C_x - n_x n^{\text{Буксир}} (C_x^{\text{Буксир}} + 3C_x^{\text{Барж}}))}. \quad (31)$$

Вибір між трубопровідним транспортом і морським виконується графічним способом. На першому етапі слід визначити відстань, на якій доцільно використовувати один з трьох способів доставки. Для цього при заданому обсязі добування за рік слід викреслити графіки залежності питомих витрат у тонно-метрах (рис. 2).

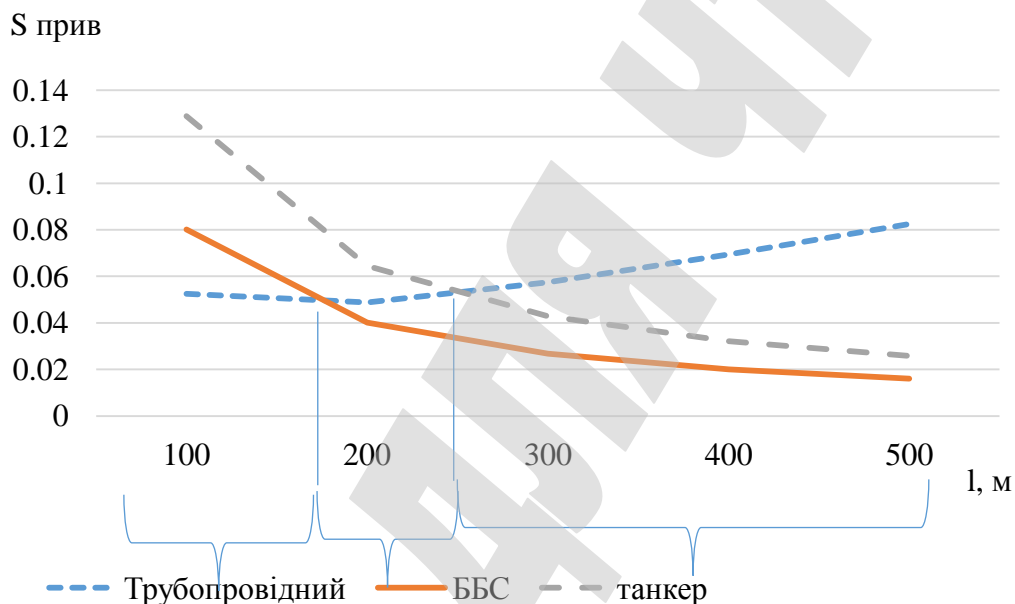


Рис. 2. Приклад розрахунку залежності питомих витрат від відстані розташування морських бурових платформ від берегової інфраструктури

Як видно з рис. 2, на відстані МБП до 180 м при інших допустимих умовах слід використовувати лише трубопровідний транспорт. На відстані від 180 до 250 м – трубопровідний транспорт та барже-буксирні склади, на відстані більше 250 м – шаттл-танкери або ББС. Для відстані від 250 до та більше – ББС та шаттл-танкери.

Таким чином, для обґрунтування типу технічних засобів при одному з трьох варіантів доставки вуглеводнів з МБП до берегової інфраструктури вибір відбувається серед техніко-експлуатаційних характеристик одного типу транспортного засобу. Наприклад, на першій ділянці при варіанті доставки трубопровідним транспортом вибір відбувається лише серед варіантів діаметрів труби та судна-трубоукладальника.

При барже-буксирному способі доставки – варіанти вибору технічних засобів складаються серед техніко-експлуатаційних характеристик барж та буксирів.

При використанні шаттл-танкерів – серед техніко-експлуатаційних характеристик суден даного типу.

Для цього потрібно визначити варіант з найбільшим значенням показника $\max S_{\max S_{\text{прив } k}}$, що відповідає найгіршому варіанту, та потім визначити відносно нього безрозмірні критерії для інших видів транспортування:

$$\lambda_k = \frac{S_{\text{прив } k}}{\max S_{\text{прив}}}, \quad (32)$$

де k – вид способу транспортування вуглеводнів від МБП до берегової інфраструктури, а саме: ББС; шаттл-танкер; трубопровід.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. Від правильної організації роботи транспортних засобів на етапі планування залежить ефективність функціонування та обслуговування об'єктів, що розташовані в шельфах морів. Організація доставки вуглеводнів з МБП до Бі за розробленою методикою дозволяє вибрати найкращий спосіб доставки за найкращими техніко-експлуатаційними характеристиками транспортних засобів. У порівнянні з аналогами, залежно від критерію ефективності це дозволяє:

- обґрунтувати техніко-експлуатаційні характеристики транспортних засобів при кожному способі доставки вуглеводнів з МБП до Бі;
- мінімізувати витрати на доставку вуглеводнів з МБП до Бі;
- мінімізувати витрати на придбання транспортних засобів для організації доставки вуглеводнів з МБП до Бі;
- мінімізувати собівартість перевезень вуглеводнів від МБП до Бі.

Weaknesses. Недоліками в розробленому методичному підході являється:

- розглянутий лише один критерій вибору варіанту – мінімальні приведені витрати;
- потребує додаткових розрахунків щодо обґрунтування техніко-експлуатаційних характеристик транспортних засобів при кожному способі транспортування;

Opportunities. В подальшому удосконаленні розробленого методичного підходу для визначення способу доставки вуглеводнів від МБП до Бі при більшій кількості варіантів транспортних засобів слід розробити економіко-математичну модель для різних критеріїв ефективності.

Впровадження розробленого методичного підходу на підприємстві дозволить компанії знизити собівартість перевезень вуглеводнів з МБП до Бі. Це досягається за рахунок вибору найкращого способу доставки та найкращих транспортних засобів при кожному способі. Розроблений методичний підхід може бути цікавим як для українських, так і для закордонних компаній.

Threats. При впровадженні розробленого методичного підходу щодо вибору способу доставки особливо важливим для компанії являється визначення способу транспортування при відомому значенні відстані МБП від берега. Для цього додатково слід розробити систему факторів, що впливають на визначення способу доставки.

Впровадження запропонованого методичного підходу не потребує додаткових витрат для компанії.

Аналогом розробленого методичного підходу можуть бути методи обґрунтування типу судна для обслуговування МБП.

8. Висновки

1. Показано, що в якості критерію для вибору способу доставки вуглеводнів використовується комплексний показник приведених витрат по кожному технічному засобу. Цей показник складається з собівартості транспортування вуглеводнів та питомих капіталовкладень на придбання транспортного засобу. Показник враховує два способи придбання транспортних засобів: оренду та купівлю.

2. У дослідженні прийнятий в якості критерію вибору при багатокритеріальній задачі безрозмірний показник: $0 \leq \lambda_k(X) \leq 1$, який дозволяє не лише вибирати спосіб транспортування, але й вибрати технічні засоби з відповідного способу за їх техніко-експлуатаційними характеристиками.

Література

1. BP Statistical Review of World Energy. 2018. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>

2. BP Statistical Review of World Energy. 2017. URL: https://www.bp.com/content/dam/bp-country/de_ch/PDF/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf

3. Wang B. World GDP should double by 2030 and World Trade, Shipping, Ports and Supply Chain will match. Nextbigfuture, 2014. URL: <https://www.nextbigfuture.com/2014/10/world-gdp-should-double-by-2030-and.html>

4. 2018 ERP Report. Panorama Consulting Solutions. 2018. URL: [https://cdn2.hubspot.net/hubfs/2184246/2018 %20ERP %20Report.pdf](https://cdn2.hubspot.net/hubfs/2184246/2018%20ERP%20Report.pdf)

5. Украина нашла крупное месторождение газа в Черном море // Ukraina.ru. 13.12.2016. URL: <https://ukraina.ru/news/20161213/1017997667.html>

6. Циклическая работа // ARTICOUPLÉ. 2010. URL: <http://www.articouple.com/rus/20-cyclic.html>

7. Саркиев В. М. Экономическое обоснование выбора вида транспорта при нефтяных логистических операциях // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2010. № 18. С. 179–186.

8. Петров М. П. Проектирование морской транспортной системы для обслуживания нефтяных месторождений Северного Каспия: автореф. дис. ... канд. экон. наук. 2010.

9. Акімова О. В. Основи теорії транспортних процесів та систем: учб. пос. Одеса: ОНМА, 2015. 395 с.

10. Speight J. G. An Introduction to Petroleum Technology, Economics, and

Politics. Salem: Scrivener Publishing, 2011. 327 p.

11. John G. Offshore Pipeline Transport Of Waxy Crude Oils Offshore South East Asia Show. Singapore, 1986. doi: <http://doi.org/10.1002/9781118192528>

12. Chaib-Drağ B., Muller J. P. Multiagent based Supply Chain Management. Berlin: Springer, 2006. 450 p. doi: <http://doi.org/10.1007/978-3-540-33876-5>

13. Мирзоев Ф. Д. оглы Методы выбора рационального варианта нефтегазопромысловых платформ для освоения шельфа: автореф. дис. Москва, 2003. URL: <http://www.dissercat.com/content/metody-vybora-ratsionalnogo-varianta-neftegazopromyslovykh-platform-dlya-osvoeniya-shelfa#ixzz4QamyhhcU>

14. Ермакова А. И. Оптимальное проектирование морских нефтегазовых сооружений: автореф. дис. Москва, 2000. URL: <http://www.dissercat.com/content/optimalnoe-proektirovanie-morskikh-neftegazovykh-sooruzhenii#ixzz4QanUv6qE>

15. Дворянинов Н. Е. Развитие технологий и технических средств для добычи нефти и газа на морских шельфах: автореф. дис. Уфа, 2008. URL: <http://www.dissercat.com/content/razvitie-tekhnologii-i-tekhnicheskikh-sredstv-dlya-dobychi-nefti-i-gaza-na-morskikh-arktiche#ixzz4QaoK8ad5>

16. Ким А. С. Оценка экономической эффективности форм привлечения инвестиций в поиски, разведку и добычу нефти: автореф. дис. Москва, 2004. URL: <http://www.dissercat.com/content/otsenka-ekonomicheskoi-effektivnosti-form-privlecheniya-investitsii-v-poiski-razvedku-i-doby#ixzz4QaoW04zL>

17. Вассерман А. А. Совершенствование хранения и регазификации сжиженных газов при их морской доставке // Технические газы. 2012. № 3. С. 24–29.

18. Винников В. В. Экономика предприятия морского транспорта (экономика морских перевозок): учеб. 2-е изд., перераб. и доп. Одесса: Латстар, 2001. 416 с.

19. Воевудский Е. Н., Соколова О. В. Система моделей описания процессов управления на морском транспорте: учеб. пос. М.: ЦРИА «Морфлот», 1981. 103 с.

20. Воевудский Е. Н. Управление на морском транспорте: учеб. М.: Транспорт, 1993. 366 с.

21. Шикин Е. В., Шикина Г. Е. Исследование операций: учеб. М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2006. 281 с.

22. Емельянов С. В., Ларичев О. И. Многокритериальные методы принятия решений. М.: Знание, 1985. 29 с.

23. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений. М.: Логос, 2002. 392 с.

24. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения. М.: Радио и связь, 1992. 504 с.