**Моделирование расходов при мультимодальной транспортировке в цепях поставки нефти**

**Modeling multimodal shipping costs in oil supply chains**

**Клепиков Владимир Павлович** кафедра УЛИ, Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, Москва, Россия

Vladimir Pavlovich Klepikov Department of Logistic Infrastructure Management, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Email: vklepikov@hse.ru

**Клепиков Владимир Владимирович** PricewaterhouseCoopers, Москва, Россия

Vladimir Vladimirovich Klepikov PricewaterhouseCoopers, Moscow, Russia

Email: [klepikov.v@gmail.com](https://e.mail.ru/compose/?mailto=mailto%3aklepikov.v@gmail.com)

**Аннотация**

Мультимодальные перевозки являются самостоятельным видом транспортного бизнеса. Они часто используются при экспорте нефти. Сорт нефти ВСТО популярен на рынке энергоносителей. Для транспортировки нефти построены нефтепроводы ВСТО-1 и ВСТО-2. В состав ВСТО -2 входит специализированный портовый терминал. После транспортировки по системе трубопровода нефть поставляется потребителям танкерами. При доставке продукции на большие расстояния стоимость транспортировки оказывает влияние на конечную цену товара. В работе представлена методика расчета стоимости мультимодальной транспортировки нефти. Приводятся примеры расчетов затрат на трубопроводном и морском участках транспортировки. Показано значительное влияние стоимости трубопроводной составляющей на затраты при мультимодальной транспортировке нефти.

**Abstract**

Multimodal transportation is a standalone type of transport business. It is often used in the oil export. The ESPO oil is a well know grade of oil on the energy market. To transport this oil ESPO-1 and 2 oil pipelines were build. The structure of ESPO-2 includes oil port terminal. When oil leaves pipeline segment of transportation it than delivers to the consumers by tankers. Transportation costs associated with long distance delivery have significant impact on the oil price market for the consumers

This paper presents methodology for calculating the cost of multimodal oil transportation as well as the examples costs calculations for the pipeline and maritime transportation segments. Proving that costs associated with the pipeline transportation segment have significant impact on the total costs of multimodal transportation of oil.

**Ключевые слова:** мультимодальная перевозка; трубопровод; танкер; капитальные затраты; операционные затраты; затраты на топливо.

**Keywords**: multimodal transportation; pipeline; tanker; capital expenditures; operating costs; fuel costs.

1. **Введение**

Экспорт нефти с использованием мультимодальных схем доставки с применением трубопроводного и морского транспорта является основным способом доставки в мире. В России, наряду с трубопроводом «Дружба», более 50 лет транспортирующего нефть на НПЗ европейских государств в последние годы построены российские нефтяные трубопроводы и портовые терминалы на Северо-Западе страны Балтийск и Усть-Луга. Более 1.5 млрд. тонн нефти отгружено из наливного терминала Шесхарис порта Новороссийск на юге России за время его работы с1964 года. Идет наращивание мощности нефтяного терминала в Южной Озереевке и трубопровода КТК до 70 млн. тонн в год.

Транспортная система Восточная Сибирь - Тихий океан ВСТО (ESPO) берет свое начало от головной нефтеперекачивающей станции в городе Тайшет Иркутской области и имеет общую длину 4,8 тыс. км ($L\_{ISPO-1+2})$. Конечным пунктом нефтепровода является портовый терминал "Козьмино" недалеко от поселка Хмыловка Приморского края. Нефтепровод проходит через: республику Саха (Якутия), Амурскую область, Еврейский автономную область и Хабаровский край. Строительство первой очереди ВСТО-1 от Тайшета до Сковородино Амурской области началось 28 апреля 2006 года и велось более 3,5 года. Протяженность$(L\_{ISTO-1}) $ ВСТО-1 составляет 2,7 тыс. км. Проектируемая мощность ВСТО-1 запланирована на уровне 80 млн. тонн низкоуглеродистой сибирской нефти марки ВСТО в год. По достижению Сковородино 30 млн. тонн нефти, поступающей по ВСТО-1 с Сибирских месторождений, планируется направлять по примыкающему нефтепроводу Сковородино - Мохэ на территорию Китая. Оставшиеся 50 млн. тонн сырой нефти в год будут следовать далее через Сковородино по второй очереди транспортной системы ВСТО-2 до порта Козьмино. Протяженность $(L\_{ISTO-2}) $ВСТО-2 составляет 2,1 тыс. км.

Строительство первой очереди нефтепровода «Восточная Сибирь -Тихий океан» обошлось $(C\_{u}) $«Транснефти» в 379,8 млрд. руб. ($12,700 bil.) вместе со специализированным нефтяным портом Козьмино, стоимость второй очереди ВСТО-2 составила 243,3 млрд. рублей ($8,1 bil.) и завершена 29.11.2012г. И нефтепроводы и порт принадлежат и эксплуатируются компанией «Транснефть». В ближайшее время трубопроводная система должна выйти на проектную мощность.

В работе рассматриваются отдельные составляющие и суммарная величина мультимодальных расходов для транспортировки нефти из месторождений Сибири с использованием трубопроводного и морского транспорта через систему ВСТО и далее нефтяными танкерами в порты выгрузки зарубежных потребителей. При этом трубопровод и специализированный нефтяной порт Козьмино являются составными элементами единого проекта ВСТО-2 и принадлежат одной компании «Транснефть». Потому расходы порта данной работе не выделяются от соответствующих расходов трубопроводной системы, а составляют с ним одно целое.

1. **Обзор литературы**

Мультимодальная перевозка предполагает использование несколько видов транспорта при доставке грузов от грузоотправителя до потребителя. Поэтому проблемы для общей доставки могут возникнуть на каждом из них. Рост перевозок с участием нескольких видов превратил их в самостоятельную индустрию. В конце 20-го века выделилась отрасль интермодальных перевозок. Она занимается доставкой контейнеров с использованием нескольких видов транспорта. Достижения в исследовании мультимодальных доставок могут быть использованы для интермодальных и наоборот. Такое взаимодействие создает условия для комплексного развития исследований в этих отраслях транспортного комплекса.

В Bontekoning и др. (2004) содержится обзор 92 работ по тематике интермодальных перевозок. Авторы пытались рассмотреть содержание исследований и определить направление будущих разработок. В обзоре Macharis и Bontekoning (2004) предпринята попытка проанализировать разработанные методы для решения интермодальных задач. Было установлено, что большая часть интермодальных маршрутов выполняют водный и железнодорожный транспорт. Автомобильный транспорт участвует на начальном и конечном сегментах перевозки. Однако, анализируемые исследования рассматривают отдельные составляющие интермодальных транспортных схем и не имеют комплексного характера. Авторы обзора приходят к следующим выводам. Исследования в области интермодальных перевозок находятся в начальной фазе развития. Ученым необходимо совершенствовать предлагаемые методы. Целью Tsamboulas и др. (2007) было разработать методологию политических мероприятий для изменения транспортной политики в направлении интермодальных перевозок. Показано, что предыдущая политика не решала вопроса развития интермодальных перевозок. Основные усилия были направлены на перевод транспортных потоков с автомобильного на другие виды транспорта. Разработанная в данной работе методология дает направление дальнейшего развития мультимодального сообщения в Европейском Союзе.

В Janic (2007) разработана модель, позволяющая производить расчет затрат транспортной системы для грузового автотранспорта и упрощенной автомобильно-железнодорожной транспортной системы. Проведенные расчеты показывают, что полное и внутренние издержки для интермодальной системы становятся более конкурентными по сравнению с автомобильной с увеличением расстояния транспортировки. А на расстоянии 600-900 км интермодальные схемы доставки более экономичны автомобильных. Интермодальные перевозки с использованием водного транспорта сильно зависят от работы наземного транспорта в портах. В Regan и Golob (2000) на базе опроса более 1200 компаний рассмотрены проблемы, возникающие в портах Калифорнии. Проблемы создавались заторами транспорта на подходах к портам. Наиболее проблемными портами в Калифорнии на момент проведения исследования оказались Los Angeles, Long Beach и Oakland. Предлагалось использовать информационные технологии для решения проблемы. В настоящее время проблема пробок автотранспорта в портах Los Angeles и Long Beach решена. В 2002 году был реализован проект коридора «Alameda». Коридор разделил железнодорожный и автомобильный трафики. Для железной дороги был выделен отдельный скоростной маршрут Monios и Wilmsmeier (2012), а автомобильные потоки в порты отделены от городского трафика Los Angeles.

В Janic (2008) разработана аналитическая модель интермодальнй железнодорожно-автомобильной транспортировки контейнеров с использованием грузовых поездов. Такие поезда запущены многими европейскими железнодорожными компаниями. С использованием разработанной модели производится сравнение доставки грузов интермодальными длинномерными контейнерными поездами и тех же грузов автомобильным транспортом. Использование интермодальной схемы транспортировки несет кроме экономических ещё и экологические преимущества. Использование интермодальной схемы уменьшает количество автомобильных заторов и дорожно-транспортных происшествий. В Frґemont и Franc (2010) исследуется возможности интермодальных перевозок с использованием морского и автомобильного транспорта. Район исследования располагался от порта LeHavre до Парижа. Интермодальные перевозки показали свои преимущества в рассматриваемой области. В Chang (2008) разработана модель выбора оптимального интермодального маршрута доставки контейнеров. Разработанный алгоритм учитывал: многообразие пунктов поставки, возможности использования разных видов транспорта, оптимальное время доставки и стоимость перевозки. С использованием методов разложения начальная задача разбивается
на ряд упрощенных задач. Затем задачи решаются методом релаксации Лагранжа. Разработанная модель применяется при доставке контейнеров из Тайваня в США. В работе рассматривается пример поставки с использованием морского, автомобильного и авиационного транспорта.

Стоимость транспортировки грузов оказывает значительное влияние на конечную цену поставляемой продукции. В Ravn и Mazzenga (2004) рассматривается влияние транспортных затрат на развитие и структуру мировой торговли. В Winebrake и др. (2008) разработана модель для анализа интермодальных перевозок по стоимости и времени доставки, по энергопотреблению и воздействию на окружающую среду. Эту модель можно использовать также для разработки проектов инвестиций в портовые терминалы, логистические центры и развитие подходной инфраструктуры к ним на Восточном побережье США.

Целый ряд исследований посвящены вопросам влияния развития транспорта на состояние окружающей среды. В работе Jakob и др. (2006) рассмотрена величина внешних расходов для города Окленд, крупнейшего города Новой Зеландии. Внешние расходы определяют величину ущерба от деятельности автомобильного транспорта на окружающую среду. Исследования показали, что суммарные доходы от деятельности автомобильного транспорта Окленда составляют лишь половину внешних расходов. Суммарная величина внешних расходов Окленда составляет более двух процентов от его GDP. В Клепиков (2018) представлен анализ мультимодальных транспортных схем поставки нефти на севере Европы. Рассматривается инфраструктура доставки и переработки нефти в исследуемом регионе. Исследуется динамика производства и потребления нефти нефтеперерабатывающими заводами региона. Интермодальная модель, состоящая из морского, железнодорожного и автомобильного режимов доставки грузов и пассажиров разработана в Sahin и др. (2014). Она основана на учете экономических и эксплуатационных параметров. Расчеты выполнены по данным транспортного рынка Турции. Проведенные расчеты показали, что при увеличении расстояния доставки интермодальный режим становится более конкурентным по сравнению с одиночными видами транспорта.

В Kazemi и Szmerekovsky (2015) с помощью метода линейного программирования разработана оптимальная модель снабжения нефтью нефтеперерабатывающих предприятий. С помощью модели минимизируется стоимость цепей поставок нефти на перерабатывающие предприятия и центры распределения продукции. Исследование проводилось на основании данных нефтяной промышленности и транспортных сетей США. Решение проблемы фрахтования танкеров для НПЗ в Китае с использованием математической модели рассмотрено в Wang и др. (2013). Предполагается, что ставка фрахта подчиняется Броуновскому движению, а прибытие танкеров закону Пуассона. Тогда задачу удается свести к дифференциальному уравнению в частных производных. Применение полученного решения на практике показывает преимущество использованного метода. В Adland и Cullinane (2006) исследуется изменение рыночной ставки фрахта при транспортировке нефти с использованием Марковской модели. В Adland и др. (2016) предложена модель формирования ставки фрахта для танкеров VLCC и Capesize. Модель, устанавливающая взаимосвязь рыночных ставок между сухогрузами и танкерами представлена в Tsouknidis (2016). Две модели исследования эффективности судовых компаний для ключевых отраслей судоходного бизнеса разработаны в Panayides (2011). Рассмотрены dry, wet и container shipping. Наиболее эффективными оказались танкерные компании, а наименее эффективными dry bulk компании. В Alexandrou и др. (2014) проведено исследование сделок на фрахтовом рынке по сделкам mergers и acquisitions за период с 1984 по 2011 годы. Исследование показало, что участники сделок получают очень высокую прибыль. Поэтому сделки часто заключаются из-за прибыли, а не для улучшения бизнеса образованных компаний. В Alizadeh и Nomikos (2004) исследуется взаимосвязь между фьючерсами, спотовыми ценами на нефть и танкерными ставками фрахта. Явной зависимости между этими рынками в работе найти не удается.

Экономические данные для строительства и использования 412 трубопроводов представлены в Rui и др. (2011). Стоимость строительства трубопровода определяется диаметром, длиной трубопровода, пропускной способность, датами строительства и географическим расположением. В Oliveira и др. (2016) рассмотрена система: морской терминал - трубопровод сырой нефти - нефтеперерабатывающий завод. Для неё разрабатывается оптимизационная модель функционирования в условиях неопределенности поставок нефти на терминал. Проблеме проектирования сетей трубопроводов посвящена André и др. (2013). Решается задача наименьшей стоимости при оптимальном диаметре трубопровода. С целью минимизации затрат в Guajardo и др. (2013) решается задача комплексного планирования производства, перевозок и продаж для нефтеперерабатывающих заводов.

 В Morecroft и Van der Heijden (1992) рассматривается структура нефтяной промышленности с целью понимания поведения нефтяного рынка. Предлагается имитационная модель для производителей нефти. В Wafa и др. (2008) предложена модель стохастического планирования для сети поставок нефтяных организаций. Использование этой модели показывает, что экономическая неопределенность стимулирует нефтедобывающие страны поддерживать баланс между переработкой и экспортом нефти. Полные оптимизационные модели морской доставки нефти трудно разрешимы. Поэтому в Aizemberg и др. (2014) предлагаются тактические модели для транспортировки нефти танкерами. В Aboudi и др. (1989) рассмотрены этапы исследовательского проекта разработки нефтяных месторождений и связанных с ними транспортных систем. Разработка математической модели, выбор методов решения и пути реализации. Разработанные алгоритмы используются в дальнейшем проектировщиками проекта. В Papageorgiou и др. (2014) рассматривается проблема морских транспортировок с длительным временем пребывания в плавании. Дан обзор литературы по данной проблеме. Для исследования проблемы маршрутизации предложена базовая модель. Представлена библиотека данных для рассматриваемого класса задач. В Coyle (1978) представлено исследование динамической системы фрахтования флота. В Agostinho и др. (2013) рассматривается проблема поставки нефти танкерами на короткое расстояние между островами. Управление запасами нефти регулируется спросом. Порты имеют ограниченное ежедневное время для приема судов. Поэтому танкеры проводят много времени в ожидании перевалки. Разработана математическая модель для рационального решения данной проблемы.

В литературе по рассматриваемой тематике отсутствуют работы, в которых имеются результаты по соотношению затрат, возникающих при мультимодальной доставке нефти с использованием трубопроводного и морского транспорта. Поэтому в данной работе предпринята попытка решить данную задачу для поставок нефти ВСТО.

**3. Методология расчета затрат при транспортировке нефти морским и трубопроводным транспортом**

Поставки нефти из порта Козьмино на 90% направлены в порты: Китая, Японии и Южной Корея. Расстояние от Козьмино до портов Dzhoushan-Ningbo, Dalian, Chiba и Ulsan составляет соответственно: 1871 км, 1898 км, 1647 км и 891 км. Поэтому, среднее расчетное расстояние морской доставки можно принять равным 1600 км, которое рассматриваемые танкеры проходят в один конец в среднем за 3 суток (в оба конца 3сут.х2=6сут.). Предполагаемое время на погрузку (выгрузку) танкера равно 2 суткам. Поэтому (с учетом погрузки/выгрузки) время одной ходки судна можно принимать равным 10 суткам, что соответствует 36 ходкам для каждого типа танкеров за год. Таким образом, количество дней за год, когда судно находится в движении определяем как 6сутх36=216сут, а $T\_{mov}$=216сут. В данном случае предполагается, что в морской транспортировке может работать лишь один из рассмотренных типов танкеров (Panamax, Aframax или Suezmax).

Для того чтобы определить количество танкеров соответствующего тоннажа, необходимых для перевозки заданного объема нефти в год, используем соотношение:

$N\_{l}(t)=\frac{V(t)}{G\_{l=1÷3 }\*36}$ (0),

где $N\_{l}(t)$ ежегодное $количество танкеров, при l=1-Panamax \left(G\_{1}= 70 тыс. тонн\right),l=2-Aframax( G\_{2}=110 тыс.тонн), l=3-Suezmax(G\_{3}=160 тыс. тонн)$,$V\left(t\right)-годовой объем перевозки.$ Дробная часть в $N\_{l}\left(t\right)$ округляется до целого и один из танкеров используется в проекте пропорционально величине дробной части. В данной работе $N\_{l}\left(t\right) и V(t)$ постоянны на протяжении всего проекта. Расходы при функционировании транспортного проекта, с учетом инфраструктуры и транспортных средств, состоят из отдельных компонент. К ним можно отнести: издержки по основному капиталу, операционные расходы, а также расходы на топливо для транспортных средств.

**3.1 Издержки по основному капиталу**

Если использовать линейный или равномерный способ учета, то величина а*мортизационных издержек* в годовом выражении определяется соотношением:

 $W\_{1} =(C\_{u }$+ $C\_{модер}$+$C\_{кап.рем}-C\_{ликвидац}$)/$T$,

где $ C\_{u }$**-**  величина первоначальных инвестиций в проект,

$C\_{модер}$ - инвестиции на модернизацию во время реализации проекта,

 $C\_{кап.рем}$– затраты на капремонт за время работы проекта,

 $C\_{ликвидац}$– стоимость ликвидации основных фондов,

$T$ – продолжительность работы проекта в годах (для трубопровода $T$ = 50 лет,

для танкеров $T$ = 20 лет).

В практических расчетах наиболее весомой компонентой в числителе выражения для определения $W\_{1} $является$ значение C\_{u }$, а другими компонентами часто можно пренебречь и затраты от амортизации представить выражением:

$W\_{1}(t)$ = $C\_{u }$/$ T$ (1)

*Издержки по кредиту капитала* (capital) в годовом выражении определяются соотношением:

$W\_{2}(t)$= $C\_{u }$\*(1 $- \frac{t-1}{T}$)\*$j$, (2)

где $t$ – текущий год работы проекта,

$j$ – ставка кредита.

**3.2 Операционные расходы**

Значительную часть операционных расходов (operating) составляют *издержки на страхование*. С учетом годового убывания страховой стоимости объекта и увеличения стоимости страховых услуг, *издержки на страхование* можно определить соотношением:

$W\_{3}(t)$=$ a$ \*$C\_{u }$\*(1 -$ \frac{t}{T}$)\*$(1+p\_{s})^{t}$, (3)

где $ a$ - процент на страхование контракта,

$p\_{s}$ – величина ежегодного увеличения стоимости страховых услуг.

Другую часть операционных расходов(эксплуатационные затраты) *составляют:* Administration,supply and stocks, repairs and maintenance, manpower. Которые, с учетом ежегодного роста, могут быть описаны соотношением:

$W\_{4}$ (t) = $E\*(1+ p\_{m})^{t}$, (4)

где $E$ – первоначальная годовая величина эксплуатационных затрат,

$p\_{m}$ - величина ежегодного увеличения стоимости эксплуатационных затрат.

Для трубопровода рассматриваются именно представленные выше четыре $ $компонента расходов: $W\_{i}\left(t\right), i=1÷4.$ Суммарная величина затрат по проекту за период ($T)$ его действия $(W\_{T}) $может быть определена с использованием соотношения:

$ W\_{T}= \sum\_{t=1}^{T}\sum\_{i=1}^{m}W\_{i}\left(t\right)\*K\left(t\right),$ (5)

$K(t)$ – коэффициент дисконтирования,

$K(t)= (1+d)^{-t}$,

где $d$ - ставка дисконта.

Для танкеров еще одним важным компонентом расходов являются затраты на топливо для двигателей.

**3.3 Издержки на топливо**

Каждый нефтяной танкер в проекте ВСТО за одну ходку преодолевает расстояние $L\_{sea}=1600 км$ туда и обратно, выполняя 36 ходок за год. При этом *издержки на топливо (fuel)*за одну ходкуможно определить из соотношения:

$W\_{5}\left(t\right) $= $T\_{v}\*R\*F\*(1+p\_{f})^{t}$, (6)

где$ T\_{v}$ – время движение танкера,

 $F$ – стоимость топлива,

$R$ – расход топлива танкером во время движения,

$p\_{f}$ - величина ежегодного увеличения стоимости на горючее.

Кроме вышеуказанных могут возникнуть непредвиденные расходы не предусмотренными страховкой. Но величина их за год не превосходит нескольких процентов от рассматриваемых величин расходов. Поэтому, непредвиденные расходы полагаются пренебрежимо малыми по сравнению с другими видами затрат.

Теперь $m$ (количество рассматриваемых видов издержек) в соотношении с (5): для трубопровода $m$ =4, для морских судов $m$ = 5.

А соотношение для затрат для одной транспортной единицы (один танкер или один трубопровод) проекта на весь срок его действия может быть представлено соотношением (5). Для того чтобы в дальнейшем перейти к рассмотрению затрат на тонну транспортируемой продукции запишем выражение затрат $W\_{T}$ в следующем виде:

$W\_{T}= \sum\_{t=1}^{T}W\_{c }\*M\left(t\right)\*K(t)$ ,

где $W\_{c}$ – некая постоянная величина расходов за все время действия проекта на тонну транспортированного груза,

$M\left(t\right)$ - масса груза, доставленного за год данной транспортной единицей (трубопроводом или танкером).

Тогда, с учетом (5) $ W\_{c}$ можно определить из соотношения:

 $W\_{c}=\frac{\sum\_{t=1}^{T}\sum\_{i=1}^{m}W\_{i}\left(t\right)\*K(t)}{\sum\_{t=1}^{T}M\left(t\right)\*K(t)}$,

которое для удобства последующего рассмотрения результатов можно разложить на составляющие:

$P\_{1}=\frac{\sum\_{t=1}^{T} \sum\_{i=1}^{2}W\_{i}(t)\*K(t)}{\sum\_{t=1}^{T}M\left(t\right)\*K(t))}$ , $P\_{2}=\frac{\sum\_{t=1}^{T} \sum\_{i=3}^{4}W\_{i}(t)\*K(t)}{\sum\_{t=1}^{T}M\left(t\right)\*K(t))}$, $P\_{3}=\frac{\sum\_{i=1}^{T}W\_{5}\left(t\right)\*K(t)}{\sum\_{t=1}^{T}M\left(t\right)\*K(t))}$

и представить его следующим образом:

$W\_{c}=\sum\_{l=1}^{n}P\_{l}$, $n=2 для трубопровода$, $n=3 $для танкера (7)

Величина $W\_{c}$ являются определяющей при формирования ставок тарифов для рассматриваемых видах транспорта.

Для танкеров $W\_{c}$ можно определить с использованием соотношений (1)-(7), для трубопроводов с использованием (1)-(5), (7).

 Для танкеров суммарная величина затрат по проекту за период ($T)$ его действия $(W\_{T}) $может быть определена из соотношения (5) при $\left(m=5\right)$, с учетом общего количества флота $(N(t)$, необходимого для транспортировки нефти за год:

$W\_{T}=$ $\sum\_{t=1}^{T}\sum\_{i=1}^{m}W\_{i}(t) \*K(t)$\*$ N(t)$, (8)

где $N(t)$– ежегодное количество задействованных в проекте транспортных средств. В нашем примере годовой грузопоток имеет постоянное значение, поэтому число задействованных танкеров для его транспортировки величина неизменная.

Распространенной величиной характеристики издержек является величина затрат при транспортировке 1 тонны продукции на расстояние 100 км. В нашем случае общая длина мультимодальной доставки состоит из длины трубопроводов ВСТО-1 ($L\_{ISPO-1}=$2700 км), ВСТО-2 ($L\_{ISPO-2}=$2100 км) и расстояния морской доставки ($L\_{sea}$=1600 км). При определении величины затрат на 100 км для соответствующих составных частей мультимодальной доставки значение затрат на заданном участке (ВСТО-1,2 или море) делится на его длину и умножается на 100.

Исходные данные для расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Параметры | Обозначения | Единица | Panamax | Aframax | Suezmax | ВСТО-1 | ВСТО-2 |
| 1 | Длительность проекта | *T* | year | 20 | 20 | 20 | 50 | 50 |
| 2 | Ставка дисконтирования | *d* | % | 3 | 3 | 3 | 6 | 6 |
| 3 | \*Ставка банка по кредиту | *j* | % | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 |
| 4 | Рост стоимости страховки в год | *ps* | % | 4 | 4 | 4 | 1 | 1 |
| 5 | Доля страховки в стоимости проекта | *a* | % | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 0.5 | 0.5 |
| 6 | DWT | *Gl* | 1000 t | 70 | 110 | 160 |  |  |
| 7 | \*Загрузка | *Z* | % | 50 | 50 | 50 | 100 | 100 |
| 8 | Расстояние | *Lk* | 1000 км | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 2.7 | 2.1 |
| 9 | Потребление топлива | *R* | t/сут. | 50 | 100 | 125 | - | - |
| 10 | Стоимость топлива | *F* | $/t | 320 | 320 | 320 | - | - |
| 11 | Движенческое время танкера за год | *Tv* | Сут. | 216 | 216 | 216 | - | - |
| 12 | Размер инвестиций | *Cu* | млн $ | 40 | 45 | 55 | 12 700 | 8 100 |
| 13 | Годовой объем транспортировки | *V(t)* | млн t | 50 | 50 | 50 | 80 | 50 |
| 14 | Операционные затраты за год | *E* | млн $ | 2.727 | 2.760 | 3.088 | 648 | 315 |
| 15 | Ежегодный рост операционных затрат | *pm* | % | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| 16 | Ежегодный рост топлива | *pf* | % | 5 | 5 | 5 | - | - |

\* параметры, которые могут быть изменены во время вычислений

Источник: <https://www.transneft.ru/>, 2018

**4. Расчет затрат и анализ результатов**

Предлагаемая методика позволяет рассмотреть расходы, возникающие на трубопроводах за весь расчетный период их использования. С использованием соотношений (1)-(5) и данных (Таблицы 1) можно построить диаграмму расходов, которые могут возникнуть на трубопроводе за весь период его работы (Рис. 1).

Затраты за расчетное время работы проекта ВСТО-1 представлены на рис. 1а

Рис. 1а. Затраты трубопровода ВСТО-1 за расчетный период

 Для ВСТО-1$(рис.1a) $ затраты по капиталу к 25-му году эксплуатации достигают величины $8,563 млрд. и за все последующие к 50-му году работы достигают значения $9,801 млрд. При этом на 25-м году операционные расходы составляют $\$$15,065 млрд., а к 50-му работы проекта достигают значения $\$$26,469 млрд.

Суммарные расходы ВСТО-1 в 25-м году составляют $23,627 млрд., а к 50-му году достигают $36,271 млрд.

Затраты за время работы проекта ВСТО-2 представлены на рис. 1б.

Рис. 1б. Затраты трубопровода ВСТО-2 за расчетный период

Для ВСТО-2$(рис.1b) $ затраты по капиталу к 25-му году эксплуатации достигают величины $5,461 млрд. и 50-му году работы доходят до $6,251 млрд. На 25-м году $операционные расходы равны \$$7,431 млрд., а к 50-му работы проекта достигают значения $\$$12,987 млрд.

Суммарные расходы ВСТО-2 в 25-м году составляют $ 12,892 млрд., а к 50-му году достигают $ 19,238 млрд.

На рис. 2a,b с помощью соотношений (1)-(5), (7) построены диаграммы составляющих расходов при транспортировке по трубопроводам 1-й тонны нефти на расстояние соответствующее длинам трубопроводов. И показано влияние банковской ставки на затраты.

Общие затраты $W\_{c}$ для ВСТО-1 показаны на рис. 2а.

Рис. 2а Затраты на транспортировку 1 тонны при изменении процентной ставки по ВСТО-1

При минимальной банковской ставке ($j=0$) суммарная величина издержек$ W\_{c}$= $P\_{1}+P\_{2} $для трубопровода ВСТО-1 (рис.2а) составляет $24,167 US, а при ($j=$6%) $W\_{c}$ = S31.063US.

Для трубопровода ВСТО-2 (рис.2b)

Рис. 2b Затраты на транспортировку 1 тонны при изменении процентной ставки по ВСТО-2

 При минимальной банковской ставке ($j=$0) суммарная величина издержек$ W\_{c}=P\_{1}+P\_{2} $ составляет $ 19,718 US, а при ($j=6$%) $W\_{c}$ = S 26.756 US.

На рис.3a,b с помощью соотношений (1)-(5), (7) представлены диаграммы составляющих компонент расходов на транспортировку 1 тонны нефти. В качестве исходных значений для расчета расходов при изменении загрузки трубопроводов выбрана величина с минимальной величиной издержек, представленных в первых колонках рис.2 ($j=0$, $d$=6%).

Общая стоимость прокачки 1 тонны нефти$ W\_{c}$ для ВСТО-1 показана на рис. 3а.

Рис. 3а Затраты на транспортировку 1 т нефти при изменении загрузки мощностей ВСТО-1

При полной загрузке трубопроводов ($Z=$100%) суммарный расход на перекачку 1 тонны нефти для ВСТО-1 (рис.3а) принимает значение $W\_{c}$= $ 24,167 US, а при минимальной рассматриваемой загрузке ($Z=$20%) значение расходов возрастает почти в 5 раз до $W\_{c}$=$ 120,833 US.

Общая стоимость закачки 1 тонны нефти $W\_{c}$ для ВСТО-2 дана на рис. 3б.

Рис. 3б Затраты на транспортировку 1 т нефти при изменении загрузки мощностей ВСТО-2

При полной загрузке ($Z=$100%) и минимальной банковской ставке суммарный расход на перекачку 1 тонны нефти для ВСТО-2 (рис.3b) принимает значение $W\_{c}$= $ 19,718 US, а при минимальной загрузке трубопровода ($Z=$20%) значение расходов возрастает почти в 5 раз до $W\_{c}$=$ 98,592 US.

При построении диаграмм на рис. 4а, б используют тот же подход, что и на рис. 3а, б (с использованием уравнений (1) - (5), (7), (9)), но теперь полученные значения получены из пропорции на расстояние прокачки нефти равного 100 км.

Общая стоимость перекачки 1 тонны нефти на 100 км для ВСТО-1 . на рис. 4а.

Рис. 4а Стоимость транспортировки 1 тонны на 100 км при изменении загрузки ВСТО-1

При минимальной банковской ставке ($j=0$) и полной загрузке трубопровода ($Z=$100%) суммарный расход на перекачку 1 тонны нефти на расстояние 100 км составляет для ВСТО-1 (рис.4a) $ 0.895 US. При минимальной рассматриваемой загрузке ($Z=$20%) значение расходов достигает $ 4.475US.

Общая стоимость перекачки 1 тонны нефти на 100 км для ВСТО-2 показана на рис. 4б.

Рис. 4б. Стоимость транспортировки 1 тонны на 100 км при изменении загрузки мощностей ВСТО-2

Для ВСТО-2 при минимальной банковской ставке ($j=0$) и полной загрузке трубопровода ($Z=$100%) суммарный расход на перекачку 1 тонны нефти на расстояние 100 км составляет (рис.4b) $ 0.939 US. При минимальной рассматриваемой загрузке ($Z=$20%) значение расходов достигает $ 4.695 US.

После транспортировки трубопроводом ВСТО-1,2 через портовый терминал нефть направляют потребителям морским флотом. В работе рассмотрены возможности морской доставки тремя видами крупных морских танкеров: Panamax, Aframax или Suezmax с характеристиками Таблица 1.

Для морской перевозки, кроме издержек по основному капиталу ($W\_{1}+W\_{2})$ и операционных расходов ($W\_{3}+W\_{4})$, большой вклад оказывают расходы на топливо $W\_{5}$ соотношение (5).

Представленная методика позволяет рассмотреть динамику затрат на всех видах транспорта, участвующих в транспортировке нефти ВСТО. На рис. 5 с использованием соотношений (1)-(5) и данных таблицы 1 построена зависимость изменения суммарных затрат от времени работы проекта за 20 лет для трубопроводов ВСТО-1,2 и (0)-(6), (8) для необходимого количества танкеров определенного типа для транспортировки исследуемого объема нефти.

Рис. 5 Транспортные расходы за 20 лет продолжительности проекта ВСТО (ESTO)

На 5-м году работы затраты распределяются:

Panamax - $938, 005 млн,

Aframax - $ 841, 420 млн,

Suezmax -$702, 025 млн,

ВСТО-1 -$6 537, 965 млн,

ВСТО-2 - $3 692, 162 млн.

На 10-м году:

Panamax - $ 1 794, 171 млн,

Aframax - $ 1 625, 250 млн,

Suezmax -$ 1 356, 293 млн,

ВСТО-1 -$ 11 902, 087 млн,

ВСТО-2 - $ 6 657, 765 млн.

На 20-м году:

Panamax - $ 3 304, 320 млн,

Aframax - $ 3 050, 980 млн,

Suezmax -$ 2 547, 354 млн,

ВСТО-1 -$ 20 256, 538 млн,

ВСТО-2 - $ 11 137, 270 млн.

На рис.6 изображены величины компонент затрат для флота, полученные при помощи соотношений (0)-(8) с использованием исходных значений Таблица 1.

Рис. 6 Компоненты затрат для танкеров за 20-лет работы по проекту

Величина затрат составляет:

Panamax суммарные затраты-$166, 5 млн/ затраты на топливо - $ 69,12 млн, Aramax$ суммарные затраты$- $241, 6 млн/ затраты на топливо -$138.24 млн, Suezmax$ сумматрые затраты$- $293, 5 млн/затраты на топливо-$ 172,80 млн.

С помощью (0)-(7) получаем компоненты затрат танкеров на перевозку 1 тонны нефти (рис.7а).$ $

Рис. 7а. Издержки танкеров по составляющим для перевозки 1 тонны нефти

Panamax $\sum\_{l=1}^{3}P\_{l}=$$4,442, ($P\_{2}$ = $1.623 и $P\_{3}$ = $1.844)

Aframax $\sum\_{l=1}^{3}P\_{l}=$ $4,101, ($P\_{2}$= $1.056 и $P\_{3}$ = $2.346)

Suezmax $\sum\_{l=1}^{3}P\_{l}=$ $3,424, ($P\_{2}$ = $0.821 и $P\_{3}$ = $2.016).

Сравнение затрат на 1 тонну транспортировки нефти ВСТО -1,2 при минимальной банковской ставке и 100% заполнении трубопровода и данных из таблицы 1 для танкеров представлено на р$ис. 7b.$

Рис. 7б Расходы за тонну при транспортировке по трубопроводу ВСТО-1,2 и по морю

$ Для ВСТО\_{1+2} \sum\_{l=1}^{3}P\_{l}=$ $43,885 US,

для Panamax $\sum\_{l=1}^{3}P\_{l}=$$4,442 US,

для Aframax $\sum\_{l=1}^{3}P\_{l}=$$ 4,1015 US,

для Suezmax $\sum\_{l=1}^{3}P\_{l}=$$ 3,424 US.

Компоненты расходов танкеров при транспортировке 1 тонны нефти на расстояние 100 км (рис.8) сохраняют пропорции между компонентами на рис.7а, а абсолютные суммарные величины затрат для Panamax, Aframax и Suezmax представлены на рис. 8:

Рис. 8 Транспортные расходы 1 тонны на 100 км для танкеров

Для Panamax - $0,278,

для Aframax - $0,256,

для Suezmax - $ 0,214.

Суммарные затраты при доставке 1 тонны нефти на расстояние 100 км для каждого компонента мультимодальной транспортировки представлены на рис. 9.

Рис. 9 Затраты на транспортировку 1 тонны на 100 км

Затраты по компонентам транспортировки распределяются следующим образом:

 ВСТО-1 - $ 0,895,

ВСТО-2 - $ 0,939,

Panamax - $ 0,278,

Aframax - $ 0,256,

Suezmax - $ 0,214.

 Суммарное значение затрат на транспортировку 1 тонны на 100 км по ВСТО-1 и ВСТО-2 в 3$÷4$ превосходит затраты на аналогичную морскую доставку.

1. **Выводы**

Рассматриваемая в работе методика моделирования расходов мультимодальной доставки Сибирской нефти позволяет исследовать затраты, возникающие на соответствующих этапах транспортировки. С использованием полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- затраты трубопроводной транспортной системы поставок Сибирской нефти потребителям распределяются между двумя составными частями ВСТО-1 и ВСТО-2 и затраты на ВСТО-1 как по основному капиталу, так и по операционным расходам существенно превосходят затраты ВСТО-2,

- затраты по морской транспортировке имеют наибольшее значение для танкеров Panamax и меньшее для танкеров Suezmax. При этом существенный вклад в общее значение оказывают затраты на топливо,

- затраты по транспортировке нефти при прохождении сухопутной части на этапе трубопроводного транспорта ВСТО-1,2 в разы превосходят затраты по морской транспортировке танкерами всех рассмотренных типов Panamax, Aframax, Suezmax. Такая тенденция проявляется и по затратам на транспортировку 1 тонны груза, и при транспортировке 1 тонны груза на 100 км для каждой из составляющих мультимодальной транспортировки,

- затраты по транспортировке нефти по трубопроводу ВСТО-1,2 существенно возрастают при уменьшении загрузки трубопровода и росте ставки банковского кредита, поэтому поступление нефти с Сибирских месторождений в систему ВСТО, а также величина ставки банковского кредита имеет большое значение для формирования стоимости мультимодальной доставки.

Проведенное исследование позволило рассмотреть составные части издержек мультимодальной транспортировки на трубопроводе и последующей поставке Сибирской нефти морскими танкерами. Расчеты показывают, что основные транспортные издержки формируются при наземной поставке нефти трубопроводным транспортом, поэтому эффективная работа трубопроводов оказывает на стоимость поставки нефти наибольшее влияние.

**Литература:**

Aboudi, R.A., Hallefjord, C., Helgesen, R., Helming, K., Jørnsten, A.S., Pettersen T. R., and Spence, P. A., 1989. Mathematical Programming Model for the Development of Petroleum Fields and Transport Systems. *European Journal of Operational Research*, vol. 43, no. 1, pp. 13-25.

 Adland, R., and Cullinane, K., 2006. [The non-linear dynamics of spot freight rates in tanker markets](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554505000025). *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* vol. 42, no. 3, pp. 211-224*.*

Adland, R., Cariou, P., and Wolff, F.-C., 2016. [The influence of charterers and owners on bulk shipping freight rates](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554515002252). *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* vol. 86, pp. 69-82.

Agostinho, A., Marielle, C., and Alexandrino, D., 2013. Mixed Integer Formulations for a Short Sea Fuel Oil Distribution Problem. *Transportation Science*, vol. 47, no. 1, pp. 108 – 124.

Aizemberg, L., Kramer, H. H., Pessoa, A. A., and Uchoa, E., 2014. [Formulations for a problem of petroleum transportation](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221714000575). *European Journal of Operational Research* vol. 237, no. 1, pp. 82-90*.*

Alexandrou, G., Gounopoulos, D., and Thomas, H. M., 2014. [Mergers and acquisitions in shipping](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554513001919). *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* vol. 61, pp. 212-234.

Alizadeh, A. H., and Nomikos, N. K., 2004. [Cost of carry, causality and arbitrage between oil futures and tanker freight markets](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554504000158). *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* vol. 40, no. 4, pp. 297-316.

Al-Othman, W.B.E., Lababidi, H.M.S., Alatiqi, I.M., and Al-Shayji, K., 2008. [Supply chain optimization of petroleum organization under uncertainty in market demands and prices](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221707006595). *European Journal of Operational Research* vol. 189, no. 3, pp. 822-840*.*

André, J., Auray, S., Brac, J., De Wolf, D., Maisonnier, G., Ould-Sidi, M.-M., and Simonnet, A., 2013. [Design and dimensioning of hydrogen transmission pipeline networks](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221713001690). *European Journal of Operational Research* vol. 229, no. 1, pp. 239-251.

Bontekoning, Y. M., Macharis, C., and Trip, J. J., 2004. Is a new applied transportation research field emerging?—A review of intermodal rail-truck freight transport literature. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 38, no. 1, pp. 1–34.

Chang, T., 2008. Best routes selection in international intermodal networks. *Computers and Operations Research* vol. 35, no. 9, pp. 2877–2891.

Coyle, R.G., 1978. [Tanker chartering: A system dynamics case study](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221778901042). *European Journal of Operational Research* vol. 2, no. 2, pp. 86-96.

Frґemont, A., and Franc, P., 2010. Hinterland transportation in Europe: combined transport versus road transport. *Journal of Transport Geography* vol. 18, no. 4, pp. 548–556.

Guajardo, M., Kylinger, M., Rönnqvist, M., 2013. [Speciality oils supply chain optimization: From a decoupled to an integrated planning approach](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221713002154). *European Journal of Operational Research* vol. 229, no. 2, pp. 540-551.

Jakob, A., Craig, J. L., and Fisher, G., 2006. Transport cost analysis: a case study of the total costs of private and public transport in Auckland. *Environmental Science and Policy* vol. 9, no. 1, pp. 55–66.

Janic, M., 2007. Modelling the full costs of an intermodal and road freight transport network. *Transportation Research D* vol. 12, no. 1, pp. 33–44.

Janic, M., 2008. An assessment of the performance of the European long intermodal freight trains (LIFTS). *Transportation Research A: Policy and Practice* vol. 42, no. 10, pp. 1326–1339.

Kazemi, Y., and Szmerekovsky, J., 2015. [Modeling downstream petroleum supply chain: The importance of multi-mode transportation to strategic planning](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554515001696). *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* vol. 83, pp. 111-125.

Клепиков В.П., 2018. Анализ мультимодальных перевозок в цепях поставки нефти европейских стран региона Атлантики, Северного и балтийского морей. *Логистика и управление цепями поставок* vol. 1, no. 84, pp. 3-18.

Klepikov, V.P., Analysis of Multimodal Transportation in the Oil Supply Chains of the European Countries of the Atlantic Region, the North Sea and the Baltic Sea. Logistics and supply chain management vol. 1, no. 84, pp. 3-18.

Macharis, C., and Bontekoning, Y. M., 2004. Opportunities for OR in intermodal freight transport research: a review. *European Journal of Operational Research* vol. 153, no. 2, pp. 400–416.

Monios, J., and G. Wilmsmeier, G., 2012. [Giving a direction to port regionalisation](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096585641200119X). *Transportation Research Part A: Policy and Practice* vol. 46, no. 10, pp.1551-1561.

Morecroft, J. D.W. and Van der Heijden, K. A.J.M., 1992. [Modelling the oil producers — Capturing oil industry knowledge in a behavioural simulation model](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037722179290009X). *European Journal of Operational Research* vol. 59, no. 1, pp. 102-122*.*

Oliveira, F., Nunes, P.M., Blajberg, R., and Hamacher, S., 2016. [A framework for crude oil scheduling in an integrated terminal-refiery system under supply uncertainty](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221716000795)”, *European Journal of Operational Research* vol. 252, no. 2, pp. 635-645.

Panayides, P. M., Lambertides, N., and Savva, C. S., 2011. [The relative efficiency of shipping companies](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554511000020). *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* vol. 47, no. 5, pp. 681-694*.*

Papageorgiou, D. J., Nemhauser, G. L., Sokol, J., Cheon, M.-S., and Keha, A.B., 2014. [MIRPLib – A library of maritime inventory routing problem instances: Survey, core model, and benchmark results](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221713009880). *European Journal of Operational Research* vol. 235, no. 2, pp. 350-366.

Ravn, M. O., and Mazzenga, E., 2004. International business cycles: the quantitative role of transportation costs. *Journal of International Money and Finance* vol. 23, no. 4, pp. 645–671.

Regan, A. C., and Golob, T. F., 2000. Trucking industry perceptions of congestion problems and potential solutions in maritime intermodal operations in California. *Transportation Research A* vol. 34, no. 8, pp. 587–605.

Rui, Z., Metz, P. A., Reynolds, D.B. Chen, G., and Zhou, X., 2011. Historical pipeline construction cost analysis. [*Int. J. of Oil, Gas and Coal Technology* vol. 4, no.3, pp. 244 - 263](http://www.inderscience.com/info/inarticletoc.php?jcode=ijogct&year=2011&vol=4&issue=3).

 [Sahin](https://www.hindawi.com/86275314/), B., [Yilmaz](https://www.hindawi.com/93131509/), H.,  [Ust](https://www.hindawi.com/84769026/), Y.,  [Guneri](https://www.hindawi.com/95781610/), A. F.,  [Gulsun](https://www.hindawi.com/72491738/), B., and [Turan](https://www.hindawi.com/35673641/), E., 2014. An Approach for Economic Analysis of Intermodal Transportationю The Scientific World Journal vol. 2014, Article ID 630320, 10 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/630320>

Tsamboulas, D., Vrenken, H., and Lekka, A., 2007. Assessment of a transport policy potential for intermodal mode shift on a European scale. *Transportation Research A: Policy and Practice* vol. 41, no. 8, pp. 715–733.

Tsouknidis, D. A., 2016. [Dynamic volatility spillovers across shipping freight markets](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554515302118). *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* vol. 91, pp. 90-111.

Wang, H., Huang, S., Liu, Z., Zheng, L., 2013. [Optimal tanker chartering decisions with spot freight rate dynamics considerations](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554512001147). *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* vol. 51, pp. 109-116.

Winebrake, J. J., Corbett, J. J., Falzarano, A., [Hawker](https://www.tandfonline.com/author/Hawker%2C%2BJ%2BScott), J.S., [Korfmacher](https://www.tandfonline.com/author/Korfmacher%2C%2BKarl), K., [Ketha, S.,](https://www.tandfonline.com/author/Ketha%2C%2BSai) and [Zilora, S.,](https://www.tandfonline.com/author/Zilora%2C%2BSteve) 2008. Assessing energy, environmental, and economic tradeoffs in intermodal freight transportation. *Journal of the Air &Waste Management Association* vol. 58, no. 8, pp. 1004–1013.