

Методология прогнозирования спроса на энергию в сегменте водного транспорта с учетом межтопливной конкуренции

Куклина Анна Константиновна

Институт энергетических исследований РАН,

Россия, Москва, kuklinaak@eriras.ru

Аннотация. В статье представлено описание экономико-математической модели для прогнозирования глобального спроса на энергию в сегменте водного транспорта с детализацией по странам, регионам и категориям судов. Модель сочетает в себе различные подходы к прогнозированию и моделированию, в том числе с использованием методов регрессионного анализа, и формирует прогнозирование спроса на основе выявленных устойчивых корреляций между энергоемкостью водного транспорта и экономико-демографическими показателями. Кроме того, в модели реализовано моделирование прогнозируемого межтопливного перехода с традиционных нефтяных топлив на альтернативные с учетом стоимости владения судами с различными видами топлива, цен на выбросы и других параметров. Ключевым отличием разработанной модели от существующих аналогов является возможность расчета всей мировой потребности в судовом топливе по крупным агрегатным показателям (значительная часть существующих моделей рассчитана исключительно на расчет потребности в топливе с одного судна, ближайший аналог является моделью МЭА) [1]. Разработанная в ИНЭИ РАН методика, основанная на установлении статистических связей с техническими характеристиками водного транспорта в разрезе категорий судов, позволяет не только рассчитать прогноз на несколько лет вперед, но и оценить перспективность использования альтернативных видов топлива при текущих экологических требованиях. Результаты расчетов, полученные по данной модели, могут представлять интерес для научных организаций, судовладельцев и производителей судового топлива.

Ключевые слова: межтопливная конкуренция, водный транспорт, прогнозирование, потребление топлива

Цитирование: Куклина А.К. Методология прогнозирования спроса на энергию в сегменте водного транспорта с учетом межтопливной конкуренции / А.К. Куклина // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2023. – № 1(29). – С. 54-63. – DOI:10.38028/ESI.2023.29.1.005.

Введение. Водный транспорт занимает порядка 3% в структуре конечного потребления энергоресурсов в мире по итогам 2019 г. [2]. Водный транспорт способен доставлять грузы большого объема на дальние расстояния при минимальных затратах, что делает его более востребованным в логистических цепочках поставок товара относительно прочих видов транспорта. Это способствует ежегодному росту спроса на данный вид транспорта, благодаря чему наблюдается рост численности кораблей и, как результат, – потребления топлива.

До сегодняшнего момента основными видами судового топлива являлись мазут и дизельное топливо (ДТ) (нефтепродукты), и, как таковой, межтопливной конкуренции не наблюдалось. Однако, учитывая последние мировые тенденции в области декарбонизации экономики, в частности, ограничения по выбросам серы, введенные Международной морской организацией для большей части мировых акваторий, стимулируется развитие альтернативного топлива для морского транспорта [3, 4, 5].

В качестве альтернативы высокосернистому мазуту и ДТ мировым сообществом рассматриваются следующие более экологичные виды топлив: СПГ, водород, метанол и биотопливо [6]. Однако, переход на них должен быть обоснован не только из соображений их экологичности, но и с точки зрения экономической целесообразности для судовладельцев, что обуславливает актуальность проведения исследований по перспективам замещения нефтяных топлив альтернативными, с учетом параметров межтопливной конкуренции (стоимости владения судами с учетом штрафов, стоимости топлив и пр.). Такие исследования актуальны как на уровне судовых компаний – в целях улучшения собственной экономики, так и на уровне макропрогнозирования в целях учета потенциальных изменений в особенно-

стях формирования топливной корзины сектора и построения глобальных топливно-энергетических балансов, прогнозов нефтяной и смежных отраслей [7].

Кроме того, важно понимать, что порядка 50% производимого мазута используется именно как судовое топливо и переход на более экологичную альтернативу в морском транспорте способен изменить структуру нефтепродуктовой корзины и, как итог, снизить рентабельность НПЗ, ориентированных на выпуск темных фракций. В связи с этим прогнозирование потребления топлива морским транспортом, а именно, структуры спроса на топливо, с учетом вводимых экологических инициатив, является способом оценить возможные риски и для нефтеперерабатывающей отрасли.

Современные подходы к прогнозированию спроса именно в морском транспорте, описанные в большинстве статей, ориентируются на машинное обучение, которое требует большого объема данных. Более того, в рассмотренных исследованиях прогнозы, зачастую, строятся для 1-2 судов, максимум на 1 рейс, и, соответственно, без учета межтопливной конкуренции [8, 9, 10]. Это позволяет заключить, что фактически на сегодняшний день отсутствуют методики оценки глобального спроса на топливо морским транспортом на длительную перспективу. Методика, представленная в данной работе, является усовершенствованным подходом к прогнозированию, так как учитывает возможность межтопливного переключения с учетом всех экологических и экономических реалий, а также позволяет рассчитать спрос по определенным категориям судов.

1. Методология. Методологически, построение прогноза потребления судового топлива, с учетом межтопливного переключения, можно разделить на 2 блока (рис. 1).

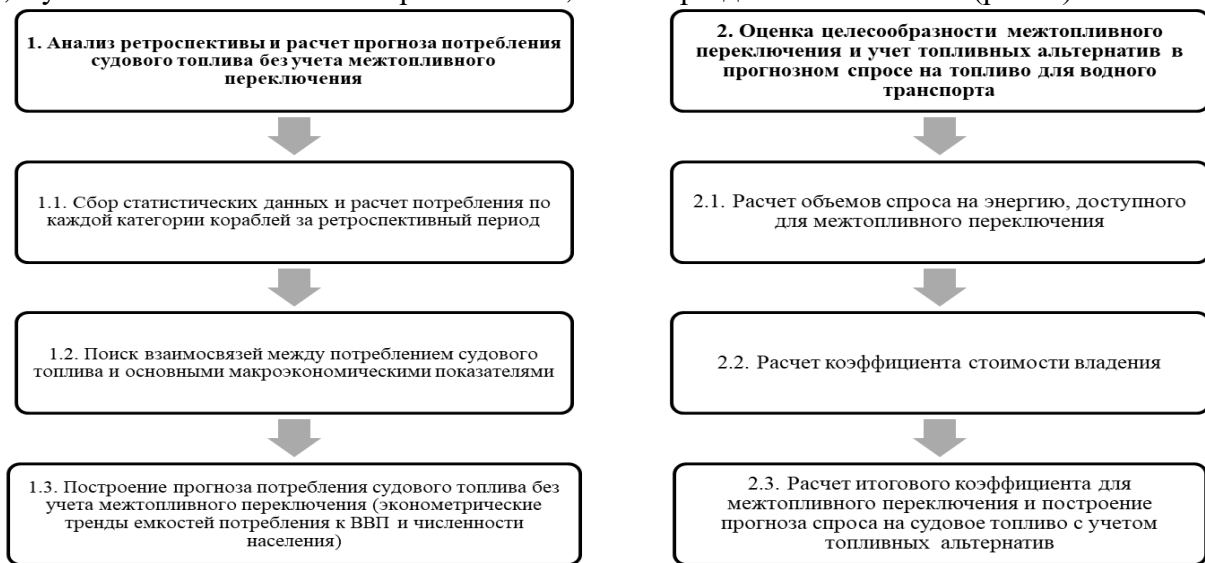


Рис. 1. Схема этапов проведения расчета прогноза спроса на энергоресурсы водным транспортом с учетом межтопливного переключения

Для реализации задач первого блока была проанализирована научная литература в области построения прогнозов потребления судового топлива. Основная часть современных работ, написанных на эту тему, затрагивает методологию машинного обучения и описывает зависимость потребления топлива от большого числа переменных, содержащихся в бортовых журналах кораблей. В частности, используются данные о скорости корабля, КПД двигателя, высоте волн, времени в пути, скорости ветра на различных участках рейса, дедвейте и пр. Учет всех этих параметров за каждые 30 мин. пребывания корабля в плавании позволяет с большей точностью определить объемы потребления топлива для будущих рейсов. Однако, очевидный минус данного подхода заключается в том, что расчет производится для единичного корабля и одного его рейса. В случае с прогнозированием глобального спроса на дли-

тельную перспективу как для отдельно взятых стран, так и для мира в целом, использование данного подхода не видится возможным из-за большого набора данных, который не предоставляется в открытом доступе.

Однако, обзор имеющейся литературы позволил также определить наиболее часто встречающиеся переменные при расчете прогноза потребления судового топлива, к которым относятся: скорость корабля, время в пути и дедвейт. На основании этого была выявлена формула (1), описывающая данный вид взаимосвязи:

$$FC = 2192,2 + 15,37 \cdot NM + 26,9 \cdot HRS - 1722,61 \cdot DWT, \quad (1)$$

где:

- FC – потребление топлива морским транспортом в литрах;
- NM – пройденное судном расстояние в морских милях;
- HRS – время судна в пути в часах;
- DWT – дедвейт судна в млн т.

Учитывая то, что каждый вид морского транспорта потребляет различные объемы топлива и для каждой категории кораблей имеются свои параметры межтопливного переключения, ретроспективное потребление судового топлива при помощи вышеописанной формулы подразделяется в соответствии с типами кораблей.

Данные по спросу на судовое топливо для каждой страны, без учета категорий кораблей, публикуются МЭА. Статистика о количестве кораблей и их дедвейте для каждой категории судов, стран и регионов, публикуется на сайте Конференции ООН по торговле и развитию (ЮНКТАД). Согласно данным ЮНКТАД, морской флот делится на следующие категории судов:

- нефтяные танкеры;
- балкеры;
- генеральный груз;
- контейнеровозы;
- прочие.

Для удобства расчетов литры, в которых считается потребление топлива, согласно вышеописанной формуле (1), переводятся в т н.э. (тонны нефтяного эквивалента). Переводной коэффициент из литров в т н.э. составляет 0,83, что соответствует среднему значению плотности судового мазута [11]. Таким образом, формируется ретроспективная величина совокупного спроса на топливо морским транспортом по каждой категории кораблей, стране и миру в целом (рис. 2).

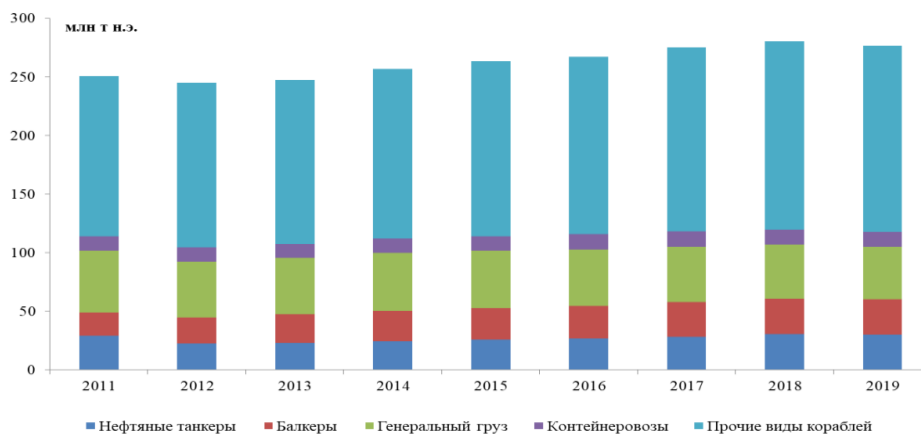


Рис. 2. Потребление энергии водным транспортом по категориям кораблей за 2011-2019 гг. по миру, млн т.н.э.

Учитывая тот факт, что на морской транспорт приходится более 90% мирового товарооборота, логично предположить, что спрос на судовое топливо, помимо технических характеристик самих кораблей, имеет зависимость от темпов экономического роста и населения в каждой стране, т.е. рост населения и его благосостояния приводит к росту потребления различного рода товаров. Для установления степени взаимосвязи потребления топлива морским транспортом с ВВП и населения производится расчет коэффициентов корреляции по каждой стране и категории кораблей. Статистика ВВП берется из отчетов Международного Валютного Фонда, населения – из прогноза ООН [12, 13].

После расчета корреляции страны и категории кораблей делятся на 2 типа: корреляция $> 0,5$ и корреляция $< 0,5$.

В том случае, когда корреляция превышает 0,5, производится расчет энергоемкости (отношение потребления топлива каждой категории кораблей, за исключением нефтяных танкеров, к ВВП) и потребления судового топлива на душу населения и определяется тренд на прогнозный период (прогноз ВВП рассчитывается ИНЭИ РАН). После этого, если коэффициенты корреляции и по ВВП, и по населению для определенной страны и категории кораблей превышают 0,5, тренды по энергоемкости и душевому потреблению совмещаются, путем поиска средневзвешенной величины спроса на судовое топливо. В случае, если значение коэффициента корреляции превышает 0,5 только в случае с ВВП либо населением, прогноз строится на основании тренда энергоемкости, либо душевого потребления, путем перемножения полученных величин энергоемкости/душевого потребления на прогноз ВВП, либо населения. Если же величина корреляции меньше 0,5, тренд протягивается от значений потребления судового топлива в ретроспективе.

Для нефтяных танкеров применяется иная методология. Изменение потребления топлива нефтяными танкерами напрямую зависит от баланса спроса и предложения нефти и нефтепродуктов на мировом рынке. В связи с этим коэффициент корреляции для данной категории кораблей определялся, исходя из зависимости между потреблением топлива танкерами и экспортом-импортом углеводородного сырья в определенную страну и регион. Минимальным значением коэффициента корреляции, для более достоверного прогнозирования, было принято 0,7.

В том случае, когда корреляция превышает 0,7, производится расчет энергоемкости экспорта и импорта и определяются тренды на прогнозный период (на основании прогноза ИНЭИ РАН по экспорту и импорту углеводородного сырья). После этого тренды по энергоемкости экспорта и импорта совмещаются путем поиска средневзвешенного коэффициента. По нему в дальнейшем рассчитывается потребление топлива.

Если же коэффициент корреляции оказывается ниже порогового значения, прогнозное потребление моделируется на основании тренда от ретроспективных показателей потребления топлива танкерами.

Таким образом, мы получаем прогнозный спрос на судовое топливо до 2060 г. без учета межтопливного переключения рис. 3.

В основе реализации задач 2-го блока методологии прогнозирования спроса на судовое топливо лежит предположение о том, что ежегодное обновление флота составляет 2% по каждой категории кораблей.

Вводимые в эксплуатацию 2% более энергоэффективны и обладают возможностью использования топливных альтернатив. Учитывая то, что потребитель на рынке теоретически рационален и каждый стремится минимизировать свои издержки (в данном контексте – стоимости владения судами), межтопливное переключение с традиционных для сектора мазута и ДТ на другие энергоносители целесообразно лишь в том случае, если альтернативные виды

транспорта являются конкурентоспособными по стоимости владения судном с традиционными [14].

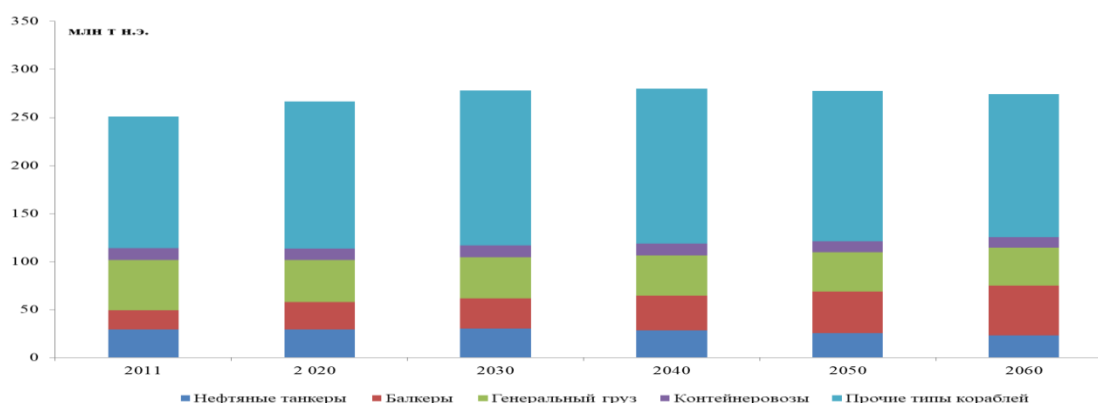


Рис. 3. Прогноз спроса на энергию на судовое топливо по категориям кораблей до 2060 г., млн т.н.э.

В данной методологии оценка межтопливной конкуренции производилась по следующим видам судового топлива:

- мазут высокосернистый;
- комбинация использования высокосернистого мазута и скруббера (система улавливания механических и химических примесей);
- дизтопливо;
- СУГ (сжиженный углеводородный газ);
- СПГ (сжиженный природный газ);
- метанол;
- водород (электроэнергия);
- атом.

Для осуществления расчета приведенной среднегодовой стоимости владения, на первом этапе все категории кораблей делятся на две группы: большие и малые. К большим кораблям отнесены нефтяные танкеры, балкеры, General Cargo и контейнеровозы, к малым – прочие категории кораблей.

Далее, для каждого типа кораблей и вида топлива производится расчет среднегодовой стоимости потребления судового топлива, затрат на двигатели и штрафов за выбросы.

Цена топлива рассчитывается, исходя из текущих рыночных цен, и прогнозируется на основании общемировых тенденций. Среднегодовая величина штрафов за выбросы определяется на основании данных об объеме выбросов по каждому виду топлива и величине платы за единицу загрязняющего вещества.

Объем выбросов приводится, для удобства расчета, к CO_2 эквиваленту по коэффициенту 100-летнего потенциала глобального потепления (ПГП) (табл. 1) [15].

Таблица 1. Выбросы в CO_2 эквиваленте 100-летнего ПГП, гр/гр.

Наименование топлива	CO_2	CH_4	NO_x	PM
Мазут (высокосернистый)	3,114	0,0014	0,0477	0
Дизельное топливо	3,206	0,0014	0,0477	0
СПГ	3,03	0	0,02915	0
СУГ	2,75	1,428	2,12	0
Водород (серый)	0	0	0	0
Метанол	1,375	0	0	0
Скруббер	3,114	0,0014	0,0477	0

Плата за выбросы SO_x – это разовый штраф, максимальный размер которого достигает 1000000 долл. в Швеции. Данная величина штрафа в настоящем исследовании установлена по всем странам, которые приняли обязательства Международной морской организации по использованию судового топлива с содержанием серы, не превышающим 0,1% м/м (зоны контроля за выбросами – SECA), и равна 0 за пределами зоны контроля за выбросами в атмосферу. Стоимость CO_2 устанавливается, исходя из долгосрочных национальных планов государств по снижению выбросов в атмосферу.

Полученные данные по большим и малым кораблям подставляются в формулу, и рассчитывается приведенная среднегодовая стоимость владения (2):

$$ПССВ_{n,k} = P \cdot Q_{n,k} + P_{SOx} + P_{CO_2} \cdot (Q_{CO_2} + Q_{CH_4} + Q_{NOx}) \cdot Q_{n,k} + \frac{CAPEX_{S(n,k)} + CAPEX_{E(n,k)}}{T_n} \quad (2)$$

где ПССВ – приведенная среднегодовая стоимость владения

- P – цена определённого вида топлива, млн долл.;
- n – тип корабля;
- k – тип топлива;
- $Q_{n,k}$ – годовой объем расхода топлива типа k, 1 кораблем категории n, млн т н.э.;
- P_{SOx} – плата за выбросы SO_x , млн долл.;
- P_{CO_2} – плата за выбросы CO_2 , млн долл.;
- $Q_{CO_2} + Q_{CH_4} + Q_{NOx}$ – сумма объемов выбросов двуокиси углерода, метана и оксида азота в расчете гр/гр от потребления топлива определенного вида в CO_2 эквиваленте 100-летнего потенциала глобального потепления (ПГП);
- $CAPEX_{S(n,k)} + CAPEX_{E(n,k)}$ – сумма капитальных затрат на установку скруббера и двигателя, корабля типа n и топлива типа k, млн долл.;
- T_n – срок эксплуатации единицы морского транспорта.

Расчет приведенной среднегодовой стоимости владения позволяет увидеть диапазон затрат определенной категории кораблей, при использовании различного вида топлива (высокосернистый мазут, дизельное топливо, СПГ, СУГ и т.д.) (рис. 4).

Этот диапазон служит основой для расчета коэффициента владения:

- из данного диапазона выбирается минимальное значение, которое выступает в роли делителя;
- в качестве делителя принимаются все значения приведенной среднегодовой стоимости владения в выбранном диапазоне, по отдельности;
- получаемое в результате арифметических вычислений частное и будет являться коэффициентом владения.

Значение расчетного коэффициента стоимости владения для каждого типа топлива лежит в интервале $0 < K_{\text{владения}} \leq 1$, где наиболее выгодным вариантом является тот вид судового топлива, которому присваивается значение коэффициента, равное 1.

Коэффициент владения рассчитывается отдельно для каждого периода, и изменения величины штрафов за выбросы, стоимости топлива и пр. условий, ведут к изменению значений коэффициента владения (табл. 2).

Завершающим этапом второго блока является расчет итогового коэффициента переключения и построение прогноза спроса на судовое топливо с учетом межтопливной конкуренции.

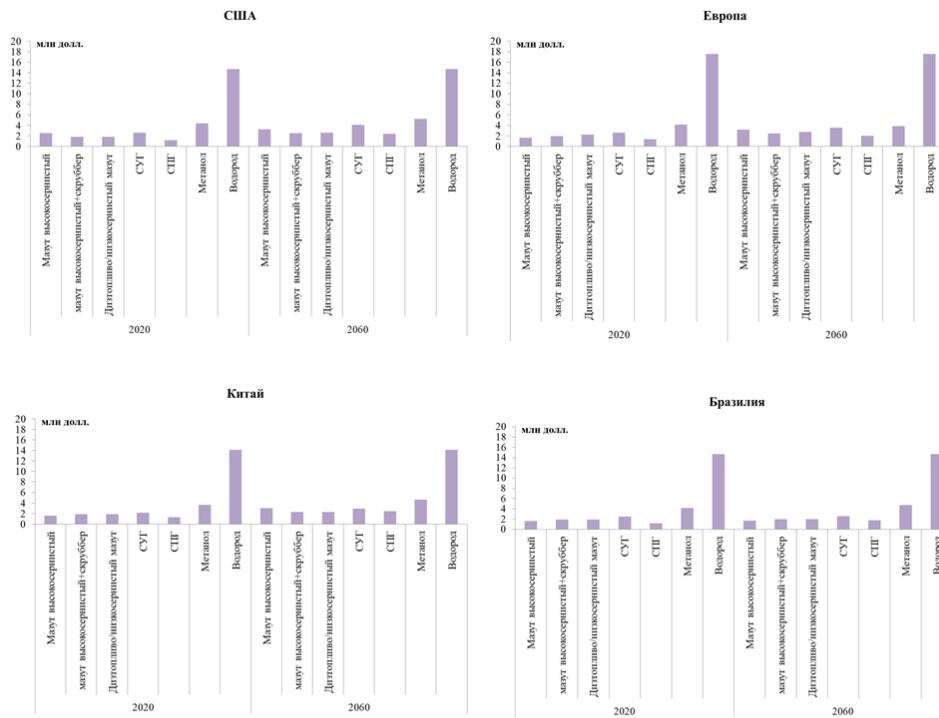


Рис. 4. Приведенная среднегодовая стоимость владения нефтяными танкерами в 2020 и 2060 гг. при условии использования различных видов судового топлива для США, Европы, Китая и Бразилии, млн долл. 2020 г.

Коэффициент переключения рассчитывается по следующей формуле (3):

$$K_{\text{переключения}} = \frac{K_{\text{владения } n, k}}{\sum K_{\text{владения } n}} \cdot K_{\text{инфраструктуры } k} \quad (3)$$

где

- n – категория кораблей;
- k – вид судового топлива;
- $K_{\text{инфраструктуры}}$ – коэффициент инфраструктуры топлива типа k.

Таблица. 2. Динамика коэффициентов владения за период 2020-2060 гг. на примере США для нефтяных танкеров

Нефтяные танкеры	2020	2030	2040	2050	2060
Мазут высокосернистый	0,471	0,722	0,710	0,733	0,737
мазут высокосернистый+скруббер	0,654	0,946	0,916	0,940	0,941
Дизтопливо/низкосернистый мазут	0,648	0,925	0,893	0,921	0,921
СУГ	0,448	0,605	0,577	0,587	0,584
СПГ	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Метанол	0,270	0,409	0,428	0,447	0,456
Водород	0,080	0,145	0,150	0,158	0,162

Коэффициент инфраструктуры принимает значения 1 либо 0. Фактически он отображает возможность в каждой стране и регионе использовать тот или иной вид топлива. К примеру, Норвегия начала строительство завода по производству водорода, что позволяет говорить о том, что в стране имеются инфраструктурные предпосылки для развития данного вида топлива. Соответственно, коэффициент инфраструктуры для водорода в Норвегии равен 1. В свою очередь, на момент проведения исследования, нет никаких планов строительства мощ-

ностей по производству водорода в Австрии, что соответствует коэффициенту инфраструктуры, равному нулю.

Рассчитанные коэффициенты переключения по каждой категории кораблей, всем видам топлива, странам и регионам умножаются на потребление топлива новыми кораблями в каждой стране и регионе. Таким образом, мы получаем прогноз спроса на судовое топливо с учетом межтопливной конкуренции до 2060 г.

2. Результаты и обсуждение. Произведенный расчет прогноза потребления топлива в морском транспорте позволяет наглядно продемонстрировать, что вплоть до 2060 г. нефть будет играть доминирующую роль на рынке судового топлива (рис. 5).

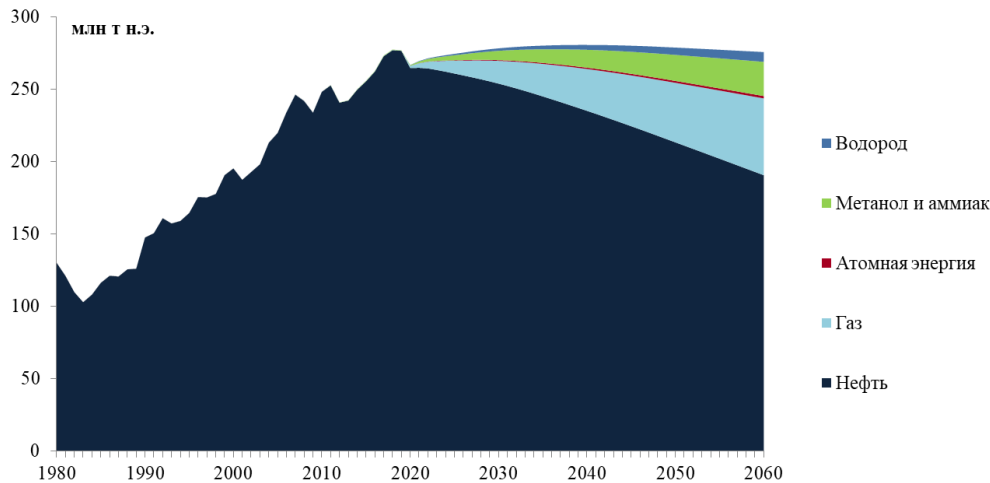


Рис. 5. Прогноз спроса на судовое топливо в разрезе до 2060 г., млн т.н.э.

Более энергоэффективные двигатели позволяют, несмотря на рост числа кораблей, снизить совокупное потребление с 277 млн т.н.э. в 2019 г. до 274,2 млн т.н.э. в 2060 г. Однако, за счет стран с развитой экономикой, наблюдается значительный прирост использования в качестве топлива газа и биоэнергии. За рассмотренные 40 лет доля газа растет с менее чем 1% в 2019 г. до 17% в 2060 г. Доля биотоплива так же возрастает, с менее чем 1% в 2019 г. до 16% в 2060 г. В силу высокой стоимости владения, водород является наименее конкурентоспособным: его доля в 2060 г. составляет порядка 3%.

Заключение. Основное преимущество разработанной методики заключается в том, что для составления прогноза используется незначительный набор данных, кроме того, методика позволяет учесть изменение факторов межтопливной конкуренции (через стоимости владения суднами различных категорий), влияние на потребление топлив и структуру топливного баланса сектора платы за различные загрязняющие выбросы, как за введенные штрафы за выбросы оксидов серы, так и потенциально возможные к внедрению в ряде государств: плату за выбросы оксидов углерода, азота и пр. Расчет производится путем понятных статистических, эконометрических и математических формул.

Первая расчетная апробация предложенной методики показала, что в ближайшие 40 лет нефтепродукты останутся доминирующим топливом в структуре энергобаланса сектора морской транспортировки, а среди всех имеющихся на данный момент альтернатив традиционным мазуту и дизелю, наилучшие перспективы имеют газ (в виде СПГ), а также метанол и аммиак, в то время как водород в обозримом будущем не займет значимого места в топливной корзине сектора.

Полученные результаты могут представлять интерес как для научного сообщества, так и для компаний – производителей нефтепродуктов: модель учитывает риски для нефтепродуктов и позволяет адекватно оценивать перспективы использования углеводородов в каче-

стве судового топлива, что обеспечивает более полное отображение степени межтопливной конкуренции.

Список источников

1. IEA (International energy agency). World energy model documentation, EIA, Paris, 2021, available at: https://iea.blob.core.windows.net/assets/932ea201-0972-4231-8d81-356300e9fc43/WEM_Documentation_WEO2021.pdf.
2. IEA (International energy agency). World energy outlook 2020, EIA, Paris, 2020, available at: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a72d8abf-de08-4385-8711-b8a062d6124a/WEO2020.pdf>.
3. MEPC (Marine environment protection committee). Guidelines for calculation of reference lines for use with the energy efficiency design index (EEDI), Resolution MEPC.215(63), 2013, annex 14, pp. 1-12, available at: [https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/eedi/11_231\(65\).pdf](https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/eedi/11_231(65).pdf).
4. IEA (International energy agency). International shipping, EIA, Paris, available at: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/international-shipping>.
5. EPA (United States environmental protection agency). Port operational strategies: vessel speed reduction, EPA: office of transportation and air quality, 2021, available at: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P10119QQ.PDF?Dockey=P10119QQ.pdf>.
6. Makarov A.A., Grigoriev L.M., Mitrova T.A. Global and Russian energy outlook 2016, ERI RAS – ACRF, Moscow, 2016, ISBN 978-5-91438-025-7.
7. Wärtsilä LNG as a marine fuel boosts profitability while ensuring compliance. Services business white paper, 2017, available at: <https://www.wartsila.com/insights/whitepaper/lng-as-a-marine-fuel-boosts-profitability-while-ensuring-compliance>.
8. Uyanik T., Arslanoglu Y., Kalenderli O. Ship fuel consumption prediction with machine learning, 4th International Mediterranean science and engineering congress (Alanya-Antalya), 2019, pp. 757-759.
9. Kim Y-R., Jung M., Park J-B. Development of a fuel consumption prediction model based on machine learning using ship in-service data. Journal of marine science and engineering, 2021, vol. 9(2), p 137, DOI:10.3390/jmse9020137.
10. Kee K.K., Bounng –Yew S. L., King-Hwa Y.R. Prediction of ship fuel consumption and speed curve by using statistical method, Journal of computer science & computational mathematics, 2018, vol. 8, issue 2 (Kuala Lumpur: SANDKRS sdn bhd), pp. 19-24, DOI: 10.20967/jcscm.2018.02.002.
11. Boye F. Development of a bunker norm for ships. Danish environmental protection agency, environmental project, no. 428, 1998, available at: https://www2.mst.dk/udgiv/Publications/1998/87-7909-173-3/html/default_eng.htm.
12. United Nations. World population prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423), New York: Department of economic and social affairs, Population division.
13. International monetary fund. World economic outlook, Washington, DC: International monetary fund, 2021.
14. Scott K.R. Rational habits in gasoline demand. Energy economics, 2012, vol. 34 (5), pp. 1713-1723, DOI: 10.1016/j.eneco.2012.02.007.
15. EPA (United States environmental protection agency). Understanding global warming potentials, 2019, available at: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>.

Куклина Анна Константиновна. Инженер отдела исследований энергетического комплекса России и мира ИНЭИ РАН, kuklinaak@eriras.ru, 117186, г. Москва, ул. Нагорная, д.31, корп.2.

UDC 519.216.3

DOI:10.38028/ESI.2023.29.1.005

Methodology for forecasting marine fuel consumption taking into account inter-fuel competition

Anna K. Kuklina

Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences,
Russia, Moscow, kuklinaak@eriras.ru

Abstract. The article describes an economic and mathematical model for forecasting global energy demand in the segment of water transport with specialization by countries, regions and categories of vessels. The model combines various approaches to forecasting and modeling, including using regression analysis methods, and generates demand forecasting based on the revealed stable correlations between the energy intensity of water

transport and economic and demographic indicators. In addition, the model implements modeling of the predicted inter-fuel transition from traditional oil fuels to alternative fuels, taking into account the cost of ownership of vessels with different types of fuel, emission prices and other parameters. The key difference between the developed model and existing analogues is the ability to calculate the entire global demand for marine fuel by large aggregate indicators (a significant part of the existing models are designed exclusively for calculating the fuel demand from one vessel, the closest analogue is the IEA model). The methodology developed at ERI RAS, based on the establishment of statistical links with the technical characteristics of water transport in the context of ship categories, allows not only to calculate the forecast for several years ahead, but also to assess the prospects of using alternative fuels under current environmental requirements. The results of calculations obtained using this model may be of interest to scientific organizations, shipowners and manufacturers of marine fuel.

Keywords: inter-fuel competition, water transport, forecasting, fuel consumption

References

1. IEA (International energy agency). World energy model documentation, EIA, Paris, 2021, available at: https://iea.blob.core.windows.net/assets/932ea201-0972-4231-8d81-356300e9fc43/WEM_Documentation_WEO2021.pdf.
2. IEA (International energy agency). World energy outlook 2020, EIA, Paris, 2020, available at: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a72d8abf-de08-4385-8711-b8a062d6124a/WEO2020.pdf>.
3. MEPC (Marine environment protection committee). Guidelines for calculation of reference lines for use with the energy efficiency design index (EEDI), Resolution MEPC.215(63), 2013, annex 14, pp. 1-12, available at: [https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/eedi/11_231\(65\).pdf](https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/eedi/11_231(65).pdf).
4. IEA (International energy agency). International shipping, EIA, Paris, available at: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/international-shipping>.
5. EPA (United States environmental protection agency). Port operational strategies: vessel speed reduction, EPA: office of transportation and air quality, 2021, available at: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P10119QQ.PDF?Dockkey=P10119QQ>.pdf.
6. Makarov A.A., Grigoriev L.M., Mitrova T.A. Global and Russian energy outlook 2016, ERI RAS – ACRF, Moscow, 2016, ISBN 978-5-91438-025-7.
7. Wärtsilä LNG as a marine fuel boosts profitability while ensuring compliance. Services business white paper, 2017, available at: <https://www.wartsila.com/insights/whitepaper/lng-as-a-marine-fuel-boosts-profitability-while-ensuring-compliance>.
8. Uyanik T., Arslanoglu Y., Kalenderli O. Ship fuel consumption prediction with machine learning, 4th International Mediterranean science and engineering congress (Alanya-Antalya), 2019, pp. 757-759.
9. Kim Y-R., Jung M., Park J-B. Development of a fuel consumption prediction model based on machine learning using ship in-service data. Journal of marine science and engineering, 2021, vol. 9(2), p 137, DOI:10.3390/jmse9020137.
10. Kee K.K., Boung –Yew S. L., King-Hwa Y.R. Prediction of ship fuel consumption and speed curve by using statistical method, Journal of computer science & computational mathematics, 2018, vol. 8, issue 2 (Kuala Lumpur: SANDKRS sdn bhd), pp. 19-24, DOI: 10.20967/jcscm.2018.02.002.
11. Boye F. Development of a bunker norm for ships. Danish environmental protection agency, environmental project, no. 428, 1998, available at: https://www2.mst.dk/udgiv/Publications/1998/87-7909-173-3/html/default_eng.htm.
12. United Nations. World population prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423), New York: Department of economic and social affairs, Population division.
13. International monetary fund. World economic outlook, Washington, DC : International monetary fund, 2021.
14. Scott K.R. Rational habits in gasoline demand. Energy economics, 2012, vol. 34 (5), pp. 1713-1723, DOI: 10.1016/j.eneco.2012.02.007.
15. EPA (United States environmental protection agency). Understanding global warming potentials, 2019, available at: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>.

Kuklina Anna Konstantinovna. Engineer of the Department of Research of Energy Complex of Russia and the World, ERI RAS, kuklinaak@eriras.ru, 117186, Russian Federation. Moscow, Nagornaya st., 31, k.2.

Статья поступила в редакцию 05.09.2022; одобрена после рецензирования 16.09.2022; принята к публикации 20.09.2022.

The article was submitted 09/05/2022; approved after reviewing 09/16/2022; accepted for publication 09/20/2022.