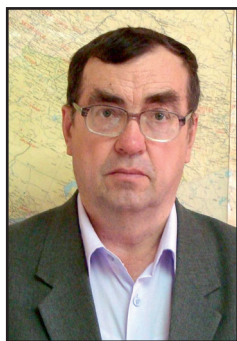




НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 338.27:656(985)
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-5>

Методы прогнозирования развития транспортных систем в современных условиях



Анатолий КИСЕЛЕНКО



Евгений СУНДУКОВ



Надежда ТАРАБУКИНА

Анатолий Николаевич Киселенко¹, Евгений Юрьевич Сундуков², Надежда Андреевна Тарабукина³

^{1, 2, 3} Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», Сыктывкар, Россия.

✉ ³ translab@iespn.komisc.ru.

АННОТАЦИЯ

Целью работы является исследование методов прогнозирования развития транспортных систем и определение их пригодности в условиях нестабильности экономики.

Современная методология прогнозирования развития региональных транспортных систем включает в себя экспертные и формальные методы, методы активного и пассивного прогнозирования.

В качестве перспективных направлений можно назвать применение в прогнозировании экспертных систем, сценарного прогнозирования и стратегического планирования.

Сценарное планирование в большей степени приспособлено к нелинейным преобразованиям в экономике, чем традиционное линейное планирование. В традиционном планировании прошлое объясняет настоящее, в сценарном планировании будущее является смыслом настоящего, будущее создается.

Многообразие и нестабильность статистических показателей побуждает создавать гибридные системы моделей прогнозирования. Их основу составляют регрессионные,

а также интеллектуальные модели, в том числе искусственные нейронные и аналитические сети и др., которые дополняются сценарным прогнозированием.

Выявлены основные факторы, определяющие функционирование транспортной сети Европейской и Приуральской Арктики, и осуществлен выбор методов прогнозирования её развития. Основными факторами, негативно влияющими на развитие транспортной сети исследуемого региона, являются нехватка грузовой базы портов; недостаточная пропускная способность транспортных подходов к морским портам; политические, социальные, природно-климатические и другие риски.

На примере Северного морского пути показано использование гибридной системы моделей прогнозирования для получения возможных значений объемов перевозок. На основе анализа регрессионных моделей и исследования возможности достижения целевого показателя объемов перевозок к 2024 году был сделан вывод о принципиальной применимости данной модели к прогнозированию объема перевозок по СМП.

Ключевые слова: транспортная система, методы прогнозирования, Европейская и Приуральская Арктика, регрессионные модели, интеллектуальные модели, сценарное прогнозирование, гибридные модели прогнозирования.

Источники финансирования: работа выполнена по теме НИР «Разработка научных основ анализа функционирования и прогнозирования развития транспортной сети Европейской и Приуральской Арктики» (№ гос. регистрации 121021800127-1).

Для цитирования: Киселенко А. Н., Сундуков Е. Ю., Тарабукина Н. А. Методы прогнозирования развития транспортных систем в современных условиях // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 40–49. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-5>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Транспорт, являясь отраслью экономики и поставщиком услуг, обеспечивает предпосылки активизации хозяйственной деятельности на той или иной территории, а развитие транспортной инфраструктуры должно носить опережающий характер [1] по отношению к материальным производствам. Поэтому необходимо выявление тенденций и показателей, позволяющих прогнозировать развитие транспортных систем как в ближайшей, так и в отдалённой перспективе.

На протяжении всей своей истории человечество пыталось заглянуть в будущее и узнать, что ждёт впереди. Мартин ван Кревелд [2] рассказывает с позиций историка о возникновении различных методик предсказания, принципах и убеждениях, лежащих в их основе. Сегодня учёные стремятся делать прогнозы с использованием новейших компьютерных технологий.

Анализ различных методологий прогнозирования, в том числе и применительно к транспортным системам, выполнен А. М. Андроновым, А. Н. Киселенко, Е. В. Мостивенко [3, с. 26–41]. В условиях плановой экономики (с начала 1970 г. и до 1991 г.) методы, основу которых составляют теория вероятностей, математическая статистика, теория регрессии, широко использовались при прогнозировании объёмов перевозок.

Целью настоящей работы является определение применимости этих и ряда перспективных методов прогнозирования развития транспортных систем в современных экономических условиях, характеризующихся высокой степенью неопределённости.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Методология

Прогнозирование развития транспортных систем и научные методы

Авторы [3] разработали современную методологию прогнозирования развития региональных транспортных систем, включающую в себя экспертные и формальные методы, методы активного и пассивного прогнозирования, методы «снизу–вверх» и «сверху–вниз», индивидуальные и групповые модели.

Под *экспертными* понимаются методы составления прогнозов на основе предположений экспертов. Среди них выделяются методы «Дельфи», «мозговой атаки», «морфологический» и т.п.

Методами *пассивного прогнозирования* значение интересующего показателя предсказывается без указания того, каким образом оно будет достигнуто, например, при экстраполяции временных рядов.

При *активном прогнозировании* точно описывается механизм формирования рассматриваемого показателя. В зарубежной литературе подобные методы также называют *нормативными*, а пассивные – *поисковыми*.

Прогнозы имеют разные временные признаки (свыше пяти лет, пять лет, год, квартал, месяц и т.п.).

Транспортные объекты имеют определённую иерархию по принадлежности к различным ведомствам, регионам, предприятиям различных форм собственности. Необходимым условием качества прогнозов, разрабатываемых для транспортных объектов (прогнозов разных уровней), является их соответствие друг другу.

Также при прогнозировании развития транспортных систем применимы *индивидуальные и групповые модели*. Индивидуальная модель прогнозирования основана на рассмотрении каждого объекта по отдельности (например, транспортное предприятие), групповая модель – на рассмотрении некоторой совокупности объектов одновременно (аэропорты и т.д.)

Для анализа и прогнозирования развития транспортных систем часто используют методы многомерной линейной регрессии.

Пригодность методов прогнозирования в условиях нестабильности экономики

Классические методы прогнозирования

Авторы работы [4] отмечают, что «при всех отмеченных ограничениях наиболее применяемыми в экономических исследованиях методами прогнозирования спроса на услуги инфраструктур на уровне региона остаются методы, основанные на статистических зависимостях. Причины – в доступности статистической информации и простоте реализации, когда на передний план выводится



Соотношение сценария, прогноза, видения [11]

Сценарий	Прогноз	Видение
Возможные, наиболее вероятные варианты будущего	Вероятные варианты будущего	Желаемый вариант будущего
Основан на неопределённости	Основан на определённых связях	Основано на ценности
Показывает риски	Скрывает риски	Скрывает риски
Качественный или количественный	Количественный	Обычно качественное
Необходим, чтобы знать, какое решение принять	Необходим, чтобы осмелиться принять решение	Побуждает к действию
Редко применяется	Применяется ежедневно	Применяется относительно часто
Эффективен в средней долгосрочной перспективе и при средней или высокой степени неопределённости	Эффективен в краткосрочной перспективе и при низкой степени неопределённости	Играет роль пусковых механизмов для сознательных преобразований

задача достижения экономического роста как общего, так и по составляющим».

Турбулентность экономики актуализирует разработку методов получения прогнозных значений социально-экономических показателей при нестабильных временных рядах. В качестве перспективных направлений прогнозирования можно назвать применение экспертных систем [5; 6], сценарного прогнозирования и стратегического планирования [7–9], что даёт возможность использовать при построении сценариев как экспертные, так и формализованные методы.

Сценарное планирование в большей степени приспособлено к нелинейным преобразованиям в экономике, чем традиционное линейное планирование. В традиционном планировании прошлое объясняет настоящее, в сценарном планировании будущее является смыслом настоящего, будущее создаётся.

Т. Саати и К. Кернс дают следующее определение сценарию: «В самом общем виде сценарий – это гипотетический исход, который определяется с помощью некоторых предположений о текущей и будущих тенденциях» [10, с. 144].

М. Линдгрэн и Х. Бандхольд отмечали, что «сценарий не является прогнозом, то есть описанием сравнительно предсказуемого развития событий настоящего. Не является он и видением – желаемым будущим. Сценарий – это тщательно продуманный ответ на вопрос: «Что случится предположительно?» или: «Что произойдёт, если...?» [11]. Соотношение (различие) сценария, прогноза и видения, показанное в этой работе, приводится в табл. 1.

Б. В. Артамонов отмечает, что «целью написания сценария является не столько

предсказание будущего, сколько желание выявить основные закономерности и тенденции развития рассматриваемого объекта во времени, обеспечить более высокую вероятность выработки эффективного решения в тех ситуациях, когда это возможно, и свести ожидаемые потери к минимуму в тех ситуациях, когда они неизбежны» [12].

В монографии [13, с. 187] отмечается, что сценарный анализ стал активно использоваться начиная с 1970-х годов. Его следует «рассматривать как дополнительный инструмент прогнозирования к традиционным количественным методам прогнозирования и моделирования, как средство стратегического планирования», поскольку «основная цель сценарного анализа заключается не в прогнозировании будущего состояния экономической системы, а в снижении неопределённости её развития».

Кроме того, авторы [10; 13] выделяют следующие классы сценариев: *исследовательские сценарии* (построены на исследовании причинно-следственных связей между текущим состоянием системы и вариантами её будущего развития); *упреждающие (предваряющие) сценарии* (строятся на исследовании причинно-следственных связей в обратном направлении – от желаемого будущего состояния системы к текущему путём выявления стратегий развития, которые обеспечат искомый переход); сценарии, основанные на количественных математических моделях и имитационном моделировании. Единого подхода к методологии сценарного анализа нет, каждый метод имеет «свои достоинства и недостатки, свои ограничения в применимости».

Относительно транспортного обеспечения освоения Российской Арктики в монографии

Таблица 2

Сравнение прогнозных оценок объёмов перевозок по СМП с фактическими значениями за 2020 и 2021 гг. (млн т) [18]

№ п/п	Системные объекты	Фактические грузопотоки	Прогнозные оценки							
			Пессимистический сценарий				Оптимистический сценарий			
			2020 г.	2021 г.	2020 г.	2025 г.	2030 г.	2020 г.	2025 г.	2030 г.
1	СМП	32,98	34,85	19,7	39,8	39,0	23,2	68,6	71,1	
2	Транзит	1,28	2,04	1,5	2,0	3,0	2,0	4,0	8,0	

[13, с. 63–64] говорится, что «необходимо обоснование расчётных вариантов сценарных условий формирования и развития энергетических и транспортных систем на арктических территориях ... во взаимодействии с процессами развития производительных сил базового региона».

Необходимость получения прогнозных значений в условиях нестабильности динамических рядов и неопределённости способствует использованию многопроцессорных архитектур, которые по своей производительности приближались бы к возможностям человеческого мозга, как, например, *искусственные нейронные сети* (ИНС) [14].

ИНС «составлены из множества отдельных процессоров, которые мы называем блоками обработки данных» (БОД), «так же, как сформированы нейронные сети в живых биологических системах» [15, с. 465–466].

БОД включает несколько входов (i), каждому из которых приписан некоторый вес (w_i). Вес может быть как положительным (возбуждающий эффект), так и отрицательным (тормозящий эффект). На входы БОД поступают переменные (x_i), принимающие значения «0» или «1».

Взвешенная сумма фактических входов S называется эффективным входом и определяется как множественная линейная регрессия:

$$S = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i + \theta,$$

где θ – параметр смещения. Если он не оговаривается, то $\theta = 0$.

Значение эффективного входа сравнивается с заданным пороговым значением P . Если $S > P$, на выход БОД выдаётся «1», в противном случае на выход выдаётся «0».

Определение весовых коэффициентов БОД ИНС имеет сходство с определением весовых коэффициентов при использовании метода анализа иерархий [16, с. 64–66; 17].

Кроме перечисленных, к методам прогнозирования развития транспортных систем

можно отнести *патентные исследования* (перспективные транспортные средства). «Ещё один аспект времени – это скорость внедрения инноваций» [11], в том числе и на транспорте.

Ниже рассмотрим применение вышеизложенных подходов к прогнозированию развития транспортной сети Европейской и Приуральской Арктики (ЕиПА).

Основные факторы, определяющие функционирование транспортной сети Европейской и Приуральской Арктики

Транспортная сеть ЕиПА, включающая железнодорожные, автомобильные, воздушные, водные пути и систему трубопроводов, функционирует на следующих сухопутных территориях Российской Арктики и примыкающих к ним водным путям, включая Северный морской путь (СМП): Мурманская область, Ненецкий автономный округ, части территорий Ямало-Ненецкого автономного округа (два городских округа и два муниципальных района), республик Карелия (пять муниципальных районов и городской округ) и Коми (три городских округа и муниципальный район), Архангельской области (три городских округа и четыре муниципальных района).

Основные факторы, определяющие грузовые перевозки в Российской Арктике, перечислены в работе [18, с. 89]. Они «разделены на две группы: экзогенные (природно-климатические условия, состояние глобальных сырьевых рынков, геополитические и геоэкономические отношения, стратегии глобальных корпораций и компаний) и эндогенные (государственная экономическая политика в отношении добычи полезных ископаемых, государственная политика в сфере регулирования арктического судоходства, состояние портовой и транспортной инфраструктуры, состояние торгового и ледокольного флотов, организационно-экономическая инфраструктура)».



Авторами [18] были получены прогнозные оценки объёмов перевозок по СМП по двум сценариям. Сравним их с фактическими грузо-потоками за 2020 и 2021 годы (табл. 2).

Сравнение показывает, что фактические значения объёмов перевозок по СМП в 2020 году оказались выше прогнозных оценок даже при оптимистическом сценарии. В то же время объём транзита в 2020 году оказался ниже прогнозных оценок, но достаточно близким к прогнозному значению в пессимистическом сценарии.

На наш взгляд, к основным факторам, негативно влияющим на развитие транспортной сети ЕиПА, являются:

- нехватка грузовой базы портов [19];
- недостаточная пропускная способность транспортных подходов к морским портам¹ [20];
- политические, социальные, природно-климатические и другие риски [21].

Процесс воздействия внешних и внутренних факторов имеет сложный и постоянно меняющийся характер. При прогнозировании объёмов перевозок ЕиПА на 2021 год основные группы факторов по значимости можно было расположить в следующей последовательности: достаточность (или недостаточность) грузовой базы; влияние ковид-ограничений (именно с этим можно увязать замедление темпов прироста объёмов перевозок по СМП в 2019–2021 гг.). Можно ожидать, что в 2022 году влияние ковид-ограничений постепенно будет снижаться, на первый план могут выйти другие ограничения.

Гибридная модель прогнозирования развития транспортной сети Европейской и Приуральской Арктики

Б. В. Артамонов отмечает: «В условиях высокой неопределённости и быстрых изменений экономической и рыночной конъюнктуры при разработке стратегии любого хозяйствующего субъекта имеет смысл воспользоваться сценарным прогнозированием, в ходе которого с учётом одновременного изменения многих факторов рассматривается возможность возникновения различных ситуаций, в которых может оказаться изучаемый субъект» [22].

Е. О. Демидова выделяет три укрупнённых этапа сценарного прогнозирования

и планирования: предсценарный, сценарный и этап внедрения сценариев [23, с. 3].

На предсценарном этапе должны быть определены цели сценарного прогнозирования и сформирована рабочая группа.

Основной задачей сценарного этапа является выявление ключевых факторов, которые определяют развитие производственных систем (в нашем случае – транспортных). Далее следует непосредственная работа по формированию сценариев, в ходе которой «для сценариев выделяют ключевые движущие силы со слабой корреляцией и намечают диапазон их возможных значений». Со ссылкой на зарубежных исследователей автор отмечает, что «сценарии в количестве больше четырёх начинают расплываться и терять свои важные для принятия решения различия» [24, с. 238].

Последний этап правильнее было бы назвать «этапом реализации сценариев». В ходе его выполнения необходимо уделять должное внимание каждому сценарию, осуществлять их мониторинг и анализировать обратные связи.

Автор работы [23, с. 3] также отмечает: «Сценарный метод является достаточно дорогостоящим и ресурсоёмким мероприятием. Однако при грамотном использовании сценариев в стратегическом планировании затраты многократно окупаются, так как дают большой экономический эффект за счёт более эффективного использования открывающихся возможностей и противостояния угрозам».

Б. В. Артамонов подчёркивает [22], что «набор вариантов сценариев образует конус сценарного прогнозирования, границами которого являются» оптимистический и пессимистический сценарии.

Прогнозируемое развитие системы определяется вектором (траекторией) сценарного развития, который находится внутри конуса прогнозирования.

Расположение этого вектора близко к границам контура (оптимистическому или пессимистическому сценариям) в обоих случаях несёт риски функционированию системы, поэтому для развития системы оптимальным будет выбор *базового сценария*, который позволит рационально использовать ресурсы системы для достижения целевого результата. При этом на основании данных непрерывного мониторинга осуществляется корректировка сценариев.

Один из возможных алгоритмов сценарного управления региональным развитием, который может быть применён и к управлению развити-

¹ Михайлов А. Мурманские порты столкнулись с нехваткой пропускной способности / Интернет-портал «Российской газеты». [Электронный ресурс]: <https://rg.ru/2021/11/30/reg-szfo/murmanskie-porty-stolknulis-s-nehvatkoj-propusknnoj-sposobnosti.html>. Доступ 27.05.2022.

Таблица 3

Объёмы перевозок по Северному морскому пути в 2011–2021 гг. (тыс. т) [[29; 30], а также по аналитическим данным Дирекции СМП Госкорпорации «Росатом»*]

	Год										
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Объёмы перевозок по СМП	3111,0	3752,0	3930,0	3982,0	5392,0	7256,0	10691,0	20180,2	31531,2	32978,9	34867,9
в т.ч. транзит	824,0	1212,0	1355,9	274,3	39,6	210,0	214,5	491,3	697,3	1281,0	2041,3

*Объём перевозок грузов в акватории Северного морского пути. [Электронный ресурс]: <https://www.fedstat.ru/indicator/51479>. Доступ 28.05.2022.

ем транспортных систем, представлен в работе Т. В. Соловьёвой и С. Г. Чефранова [25]. Условно можно выделить четыре этапа реализации этого алгоритма:

«На первом (начальном) этапе происходит: формирование цели синтеза сценария; определение временного горизонта сценария; формирование совокупности целевых ориентиров; идентификация текущего состояния.

Далее осуществляется синтез сценарных условий (второй этап). Проводится проверка, образована ли при этом полная группа событий. В случае успешной проверки оценивается вероятность наступления событий, определяющих сценарные условия; рассчитываются показатели качества набора сценарных условий; проверяется, достигнуты ли лучшие показатели. При достижении лучших показателей формируется система управляющих воздействий для различных сценарных условий.

На третьем этапе после синтеза совокупности индикаторов сценарных условий, мониторинга состояния объекта управления и внешней среды, проверяется реализация сценарных условий.

На завершающем этапе выполняется реализация управляющих мероприятий для наиболее вероятных сценариев (как оговаривалось выше трёх-четырёх)».

Н. М. Бухаров предлагает использовать сочетания различных подходов в прогнозировании и называет их «гибридными»: «При удачном исходе гибрида ожидают получение синергетического эффекта, это значит значительное улучшение его показателей» [26].

По мнению авторов работы [27, с. 130–131] гибридная система моделей прогнозирования состоит из комплекса регрессионных моделей и совокупности интеллектуальных моделей, в том числе искусственных нейронных сетей, аналитических сетей и др. (рис. 1).

Такая система является открытой и позволяет включать новые модели и показатели, может



Рис. 1. Гибридная система моделей прогнозирования [27].

иметь модульную архитектуру, что придаёт ей дополнительную устойчивость.

Использование гибридной системы моделей на примере получения прогнозных значений объёмов перевозок по Северному морскому пути

Количество показателей, характеризующих уровень перевозок пассажиров и грузов, используемых в различных задачах прогнозирования и планирования работы транспорта ЕиПА, очень велико. На сегодняшний день существует более 150 методов и моделей прогнозирования. Они, как правило, базируются на стабильных временных рядах показателей, математической статистике и программировании [1, с. 16–17].

Важным показателем функционирования транспортной системы ЕиПА является объём грузовых перевозок по СМП, который имеет исключительное значение, в первую очередь, для обеспечения безопасности Арктической зоны Российской Федерации. Определён его целевой показатель в 80 млн т к 2024 году². Такая целевая установка активизирует два возможных сценария развития Арктической транспортной системы и транспортной сети ЕиПА как её составной части: оптимистиче-

² Утверждён план развития инфраструктуры Северного морского пути до 2035 года. [Электронный ресурс]: <http://government.ru/docs/38714/>. Портал госпрограмм РФ. [Электронный ресурс]: https://programs.gov.ru/Portal/pilot_program/24/elements. Доступ 27.05.2022.



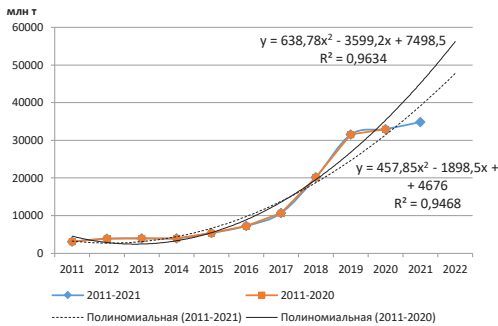


Рис. 2. Экстраполяция временных рядов 2011–2020 гг. и 2011–2021 гг. в части объёмов перевозок по СМП с использованием регрессионных моделей [выполнено авторами].

ский (указанный объём перевозок будет достигнут) и пессимистический (названный объём перевозок не будет достигнут). По какому из них пойдёт развитие, определяется экономическими, политическими, природными и другими рисками [28, с. 53].

В период с 2011 по 2019 гг. наблюдался неуклонный рост объёмов грузовых перевозок по СМП за счёт увеличения объёмов добычи углеводородов в ЕиПА и перевозки их на экспорт, что позволяло разрабатывать вполне адекватные модели для их прогнозирования методом регрессионного анализа.

Данные по объёмам перевозок по СМП в 2011–2021 гг. приведены в табл. 3.

Определённый вклад в этот рост вносили транзитные перевозки грузов из Азиатско-Тихоокеанского региона в Европу, однако, объёмы их незначительны.

По имеющимся значениям были построены регрессионные модели для временных рядов 2011–2020 гг. и 2011–2021 гг. (рис. 2).

Для временного ряда 2011–2020 гг. прогнозное значение, полученное по десяти фактическим значениям посредством квадратичной модели, на 2021 г., составило 45199,7 тыс. т, что значительно превышает реальное значение – 34850,0 тыс.т. Оценка объёмов перевозок в 2022 г. по этой модели равна 56292,4 тыс. т, дальнейшее продолже-

ние линии тренда подтверждает достижимость целевого показателя в 2024 году.

Для временного ряда 2011–2021 гг. значение объёмов перевозок по СМП на 2022 г. (на основе 11 фактических значений) равно 47824,4 тыс. т, но при этом по результатам регрессионного анализа не исключено развитие по пессимистическому сценарию, в том числе с менее быстрыми темпами роста к 2024 году.

Таким образом, по результатам регрессионного анализа возможно сделать определённые предположения о достижимости или недостижимости целевого показателя при наличии стабильных динамических рядов. Схема таких исследований направлена «из прошлого в будущее» [31, с. 18].

При этом нужно исходить из большой зависимости регрессионного анализа от текущих изменений динамики достигнутых показателей, в том числе временного характера, что снижает точность прогноза.

В случае ИНС исследования направлены «из будущего к настоящему», т.е. сначала определяются основные факторы, которые могут оказывать влияние на функционирование системы в перспективе, а затем разрабатывается несколько сценариев текущего развития.

Ниже приведён принципиальный пример модели построения элементов ИНС, определяющий возможность достижения целевого показателя объёмов перевозок по СМП к 2024 г.

Построение базового БОД

С учётом исходных данных были определены входные и выходные переменные, для входов заданы предварительные веса (табл. 4), а также задано пороговое значение $P = 0,4$. Следует учесть, что предварительные группы учитываемых ограничений, их состав (в том числе декомпозированный по отдельным позициям) и соответствующие веса, определённые экспертным методом, не являются строго

Таблица 4

Входные и выходные переменные и их веса для базового БОД
[составлено авторами]

Обозначение переменных	Смысловое значение переменных x_i	«Вес» переменной w_i
x_1	Внешние ограничения (экономические, экологические и иные)	0,2
x_2	Ковид-ограничения	0,3
x_3	Недостаточная грузообразующая база	0,5
y	Целевой показатель достигнут / не достигнут	

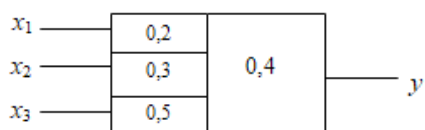


Рис. 3. Базовый БОД для заявленной цели прогнозирования.

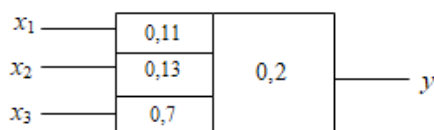


Рис. 4. Изменённый БОД_2.

	A	B	C	D
		Смысловое значение переменных (условное наименование проекта)	Обозначение переменных	Вес переменной (объем перевозок по проекту, млн т), $w_{3,i}$
1				
2	1	Новый порт	$X_{3,1}$	5,56
3	2	Восток Ойл	$X_{3,2}$	30,00
4	3	Ямал СПГ	$X_{3,3}$	19,70
5	4	Арктик СПГ2	$X_{3,4}$	12,60
6	5	Обский ГХК	$X_{3,5}$	0,60
7	6	Норильский Никель	$X_{3,6}$	0,96
8	7	Сырадасайское месторождение	$X_{3,7}$	3,50
9	8	Прочие проекты	$X_{3,8}$	0,31
10	9	Грузы обеспечения, «северный завоз», транзит	$X_{3,9}$	16,78
11		Смещение	θ_3	-10,01
12		Недостаточная грузообразующая база	X_3	
13				$P=80$

Рис. 5. Таблица исходных данных БОД_1 для анализа достаточности грузовой базы перевозок по СМП [составлено авторами на основе Распоряжения Правительства РФ от 01.08.2022 № 2115-р «Об утверждении Плана развития Северного морского пути на период до 2035 года» / Справочно-правовая система «Консультант Плюс»].

заданными и в данном случае служат иллюстративным примером. При построении действующей модели они должны быть определены на основе широкого экспертного опроса.

Сформированный базовый БОД показан на рис. 3.

С использованием программной реализации ИНС – пакета Flux.jl (библиотека машинного обучения³, написан на языке программирования Julia⁴, и для него) весовые коэффициенты были пересчитаны, установлено новое пороговое значение $P'=0,2$, новые данные введены в БОД_2 (рис. 4).

Для анализа достаточности грузовой базы перевозок по СМП ИНС разработан БОД_1, таблица исходных данных которого представлена на рис. 5.

Выходная переменная БОД_1 поступает на вход БОД_2, который помимо достаточности грузовой базы анализирует воздействие других внешних факторов.

Исходные данные считывались из Excel-файла в Julia с помощью пакета XLSX.jl, что позволило легко корректировать данные (веса переменных) в зависимости от заявленных объемов грузопотоков (рис. 5). Результаты всех вычислений также экспортировались в Excel-файл.

³ Flux: The Julia Machine Learning Library. [Электронный ресурс]: <https://fluxml.ai/Flux.jl/stable/>. Доступ 27.05.2022.

⁴ The Julia Programming Language. [Электронный ресурс]: <https://julialang.org/>. Доступ 27.05.2022.

В зависимости от целей исследования можно заменять входы элементов сети новыми БОД-ами, тем самым увеличивая число слоёв ИНС, либо число БОД-ов в каком-либо слое.

В результате оценки текущих и перспективных объёмов грузоперевозок по СМП можно сделать вывод о рисках, сопряжённых с достижением к 2024 г. директивно-прогнозного значения грузооборота в 80 млн т. Одним из препятствующих факторов, помимо выше названных, является ограниченная пропускная способность действующих железнодорожных подходов к морским портам ЕиПА Мурманска и Архангельска и отсутствие таковых для Сабетты и перспективного порта Индига.

Качество любого прогноза зависит от точности вводимых данных, в данном случае – переня учитываемых факторов и присвоенных им экспертным путём весовых оценок. В этой связи прогноз в складывающихся динамически изменяющихся условиях не может рассматриваться как окончательно сформировавшийся.

Так, первая половина 2022 года показала, что группа зарубежных стран будет отказываться⁵ от российских нефти, газа и угля, притом, что в 2021 году эта группа стран

⁵ Поворот на Восток приказано ускорить: путь энергоресурсов в Азию будет тернист. [Электронный ресурс]: <https://eadaily.com/ru/news/2022/04/15/povorot-na-vostok-prikazano-uskorit-put-energoresursov-v-aziyu-budet-ternist>. Доступ 27.05.2022.



Обозначение переменных	Вес переменной w_i	Смысловое значение переменных
x_1	0,11	внешний фактор 1
x_2	0,13	внешний фактор 2
x_3	0,7	внешний фактор 3 (недостаточная грузообразующая база)
...	...	...
y		Целевой показатель не будет достигнут
$P=$	0,2	

Рис. 6. Пример таблицы исходных данных БОД_2 для прогнозирования достижения целевого показателя объема грузовых перевозок по СМП [составлено авторами].

обеспечила более половины выручки от экспорта энергоносителей (около 100 из 191,5 млрд долл.). Это может потенциально негативно повлиять на обострение проблемы нехватки грузовой базы арктических портов и, как следствие, вызвать снижение объемов грузовых перевозок по СМП.

С другой стороны, снижения прогноза по достижению установленного показателя к 2024 году не произошло, целевым остаётся показатель в 80 млн т⁶. Происходит переориентация экспорта нефти и газа на перспективные рынки других групп стран (речь идёт в том числе о реализации инфраструктурных проектов: железнодорожных, трубопроводных, портовых, а также об обеспечении потребностей в энергоресурсах на внутреннем рынке). При этом, в целях определения приоритетности нефтегазовых проектов и их реализации, необходимо использовать прогнозные значения, обладающие высокой степенью достоверности.

В целом эта задача обусловлена не только складывающейся ситуацией на определённом отрезке времени, но и носит долгосрочный характер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

«Комплексность проблем экономического прогнозирования, в частности, развития транспортной сети Европейской и Приуральской Арктики определяет необходимость междисциплинарного подхода к их решению, расширение и интеграцию уже имеющихся методик» [32].

Многообразие и нестабильность статистических показателей побуждает создавать гибридные системы моделей прогнозирования. Их основу составляют регрессионные моде-

ли, интеллектуальные модели, в том числе искусственные нейронные сети, аналитические сети и др., которые дополняются сценарным прогнозированием.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мачерет Д. А. О законе опережающего развития транспортной инфраструктуры // Экономика железных дорог. – 2018. – № 7. – С. 14–19. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35249444>. Доступ 27.05.2022.
2. Ван Кревельд М. Прозревая будущее: Краткая история предсказаний / Пер. с англ. Д. Панайотти. – М.: Новое литературное обозрение, 2022. – 320 с. ISBN 978-5-4448-1758-2.
3. Андронов А. М., Киселенко А. Н., Мостивенко Е. В. Прогнозирование развития транспортной системы региона: Монография. – Сыктывкар: КНЦ УрО РАН, 1991. – 178 с.
4. Петров М. Б., Кожов К. Б. Новые подходы к прогнозированию в целях управления развитием больших систем территориальной инфраструктуры // Инновационный транспорт. – 2017. – № 2 (24). – С. 3–10. DOI: 10.20291/2311-164X-2017-2-3-10.
5. Борисов П. А., Виноградов Г. П., Семёнов Н. А. Интеграция нейросетевых алгоритмов, моделей нелинейной динамики и методов нечёткой логики в задачах прогнозирования // Известия российской академии наук. Теория и системы управления. – 2008. – № 1. – С. 78–84. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9603710>. Доступ 27.05.2022.
6. Киселенко А. Н. Информационные системы в управлении. – Сыктывкар: СГУ, 1996. – 86 с. ISBN 5-87237-141-1.
7. Киселенко А. Н. Прогнозирование и планирование в экономике. – Сыктывкар: КРАГСиУ, 2003. – 87 с. ISBN 5-93206-050-6.
8. Мачерет Д. А., Титов Р. А. Стратегическое планирование и экономическая оценка развития интермодальной транспортной инфраструктуры // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. – № 6. – С. 30–45. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-6-30-45.
9. Киселенко А. Н., Малашук П. А. Стратегическое планирование развития транспортной сети Европейской и Приуральской Арктики на федеральном уровне // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2021: Материалы Международной науч.-практ. конференции 09–10 ноября 2021 г. – СПб: ИПТ РАН, 2021. – Т. 1. – С. 50–54. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47983630> (полный текст сборника). Доступ 27.05.2022.
10. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
11. Линдгрэн М., Бандхольд Х. Сценарное планирование: связь между будущим и стратегией / Пер. с англ. И. Ильиной. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2009. – 233 с. ISBN 978-5-9693-0137-5. [Электронный ресурс]: <https://>

⁶ Россия доставит по Севморпути 80 млн т грузов к 2024 году. Известия, 5 мая 2022 года. [Электронный ресурс]: <https://iz.ru/1329712/2022-05-04/rossia-dostavit-po-sevmorputi-80-mln-t-gruzov-k-2024-godu>. Доступ 27.05.2022.

www.cfin.ru/management/strategy/plan/scenario.shtml.
Доступ 27.05.2022.

12. Артамонов Б. В. Формирование сценариев при стратегическом управлении предприятием // Инновации в гражданской авиации. – 2015. – № 4. – С. 5–10. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23238451>. Доступ 27.05.2022.

13. Андреева Е. Л., Душин А. В., Игнатова М. Н. и др. Сценарные подходы к реализации уральского вектора освоения и развития российской Арктики / Ответ. ред. Ю. Г. Лаврикова. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, Издательство АМБ. – 2017. – 340 с. ISBN 978-5-94646-594-6.

14. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – 2-е изд. / Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с. ISBN 5-8459-0890-6.

15. Брукшир Дж. Информатика и вычислительная техника. – 7-е изд. / Пер. с англ. Е. Мясникова, Е. Шикарева. – СПб.: Питер, 2004. – 620 с. ISBN 5-94723-650-8.

16. Саати Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети / Пер. с англ. – Науч. ред. А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – М.: ЛКИ, 2008. – 360 с. ISBN 978-5-382-00422-8 (рус.).

17. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. – М.: Радио и связь. – 1993. – 278 с.

18. Комков Н. И., Селин В. С., Цукерман В. А., Горячевская Е. С. Сценарный прогноз развития Северного морского пути // Проблемы прогнозирования. – 2016. – № 2. – С. 87–98. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26389311>. Доступ 27.05.2022.

19. Музлова Г. Порты Арктики: условия для роста грузооборота // Морские порты. 2021. – № 4. [Электронный ресурс]: <http://www.morvesti.ru/analitika/1688/90941/>. Доступ 27.05.2022.

20. Киселенко А. Н., Малащук П. А., Сундуков Е. Ю. Оценка соответствия провозных и пропускных способностей транспортных путей Европейского и Приуральского Севера России потребностям Арктической транспортной системы // Проблемы развития территории. – 2019. – Вып. 3 (101). – С. 33–48. DOI: 10.15838/ptd.2019.3.101.2.

21. Лукьянец А. С., Брагин А. Д. Оценка масштабов и перспектив влияния климатических рисков на социально-экономическое развитие России // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2021. – Т. 14. – № 6. – С. 197–209. DOI: 10.15838/esc.2021.6.78.11.

22. Артамонов Б. В. Формирование сценарных композиций в условиях нестабильности рыночной конъюнктуры // Инновации в гражданской авиации. – 2016. – № 1. – С. 19–25. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27196739>. Доступ 27.05.2022.

23. Демидова Е. О. Проблемы разработки модели процесса стратегического сценарного прогнозирования и планирования развития предпринимательских структур

// Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – Кисловодск: Кисловодский институт экономики и права. – 2011. – № 8 (32). – С. 50. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17805187>. Доступ 27.05.2022.

24. Schwartz, P. P. The Art of the Long View: Planning for the Future in an Uncertain World. New-York, 1991, 238 p.

25. Соловьёва Т. В., Чефранов С. Г. Разработка алгоритма сценарного управления региональным развитием // Новые технологии. – 2011. – № 1. – С. 130–135. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16213551>. Доступ 27.05.2022.

26. Бухаров Н. М. Управление человеко-машинными комплексами на основе гибридного интеллекта // Автореферат на соискание учёной степени доктора технических наук. – М., 2011. – 43 с. [Электронный ресурс]: https://new-dissert.ru/_avtoreferats/01005089164.pdf. Доступ 27.05.2022.

27. Китова О. В., Дьяконова Л. П., Савинова В. М. Система гибридных моделей прогнозирования для ситуационных центров региональных органов управления и их применение в образовании // Вестник РЭУ им. Г. В. Плеханова. – 2017. – № 5 (95). – С. 126–134. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30554038>. Доступ 27.05.2022.

28. Киселенко А. Н., Сундуков Е. Ю. Оптимистический и пессимистический сценарии формирования транспортных подходов к Арктической транспортной системе на основе достижения целевых показателей // Мир транспорта. – 2020. – Том 18. – № 6. – С. 46–62. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-6-46-62>.

29. Селин В. С., Селин И. В. Тенденции развития арктических морских портов // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2018. – № 1 (57). – С. 55–66. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35134601>. Доступ 27.05.2022.

30. Лапин Н. С. Северный морской путь как международная транспортная магистраль // Вестник академии. – 2020. – № 3. – С. 111–126. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44310264>. Доступ 27.05.2022.

31. Артамонов Б. В. Особенности формирования стратегических моделей управления // Инновации в гражданской авиации. – 2016. – № 4. – С. 17–22. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28278954>. Доступ 27.05.2022.

32. Киселенко А. Н. О методологии функционирования и прогнозирования развития транспортной сети Европейской и Приуральской Арктики // Проблемы развития транспортной инфраструктуры северных территорий. – Вып. 4. – Сборник статей IV всероссийской науч.-практ. конф. – 23–24 апреля 2021 года. – Котлас: Котласский филиал ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова, 2021. – С. 8–14. ISBN 978-5-906619-85-3. ●

Информация об авторах:

Киселенко Анатолий Николаевич – доктор технических наук, доктор экономических наук, профессор, руководитель лаборатории проблем транспорта Института социально-экономических и энергетических проблем Севера Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», Сыктывкар, Россия, kiselenko@iespn.komisc.ru.

Сундуков Евгений Юрьевич – кандидат экономических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории проблем транспорта Института социально-экономических и энергетических проблем Севера Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», Сыктывкар, Россия, translab@iespn.komisc.ru.

Тарабукина Надежда Андреевна – старший инженер лаборатории проблем транспорта Института социально-экономических и энергетических проблем Севера Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», Сыктывкар, Россия, nadandtar@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 04.05.2022, одобрена после рецензирования 24.06.2022, принята к публикации 11.07.2022.

