

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ВЫБОРА ВЕКТОРА РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

В настоящее время особой значимостью обладают методы применения инструментария научных исследований, позволяющие повысить детализацию эксплуатационно-экономических обоснований и обеспечить приемлемый уровень затрат, связанных с изысканиями. В статье приводятся модель обоснования процедур развития региональной транспортной системы и перечень ключевых показателей эффективности, которые целесообразно применять для воднотранспортной системы Республики Беларусь. Охарактеризована искусственная нейронная сеть, которая может быть применима для моделирования варианта развития воднотранспортной системы. Предложен вариант сочетания результатов имитационного моделирования и нейронной сети в обоснованиях варианта развития региональной транспортной системы.

Транспортная система, являясь инфраструктурной подсистемой экономики географического региона, объекты которой имеют длительный инвестиционный цикл, должна соответствовать и обеспечивать опережающие темпы его развития. При этом транспортную систему невозможно оперативно приспособить к меняющимся с течением времени условиям, что требует высокой точности обоснований ее параметров.

Традиционные модели эксплуатационно-экономических обоснований выбора вариантов развития транспортной системы региона базировались на расчетах мощности ресурсного входящего потока, который планировали для условий расчетного года перехода развиваемой системы в новое состояние. Однако принципы устойчивого развития регионов требуют иного подхода. Прежде всего это связано с тем, что за пределами расчетного срока, на который определяются потребность и структура подвижного состава, технологические параметры его работы, а также инфраструктурное обеспечение, требования к развиваемой транспортной системе со стороны экономики региона продолжают расти.

В условиях инновационного развития экономики и транспорта, как ее инфраструктурной отрасли, актуальным становится создание методологического аппарата, позволяющего осуществлять оптимизационные расчеты параметров развития региональной транспортной си-

стемы на верхних иерархических уровнях, т.е. там, где формируется инвестиционная политика развития экономики региона. Это обусловлено тем, что эффективность развития транспортной системы во многом определяется не техническими параметрами ее элементов (подвижного состава, инфраструктурных подсистем), а параметрами распределения входящего потока ресурсов, прежде всего финансовых.

Сказанное позволяет сделать вывод, что для обоснования варианта развития региональной транспортной системы необходима специальная постановка задачи, в которой каждое мероприятие развития рассматривается как элемент единой системы, а выбор оптимального варианта развития, относящегося к конкретному мероприятию, оценивается с позиций эффективности работы системы в целом и исходя из динамического изменения индексов опережающего развития в перспективе.

На рисунке 1 показана обобщенная модель обоснования процедур развития региональной транспортной системы, в которой предусмотрено распределение ресурсов, меняющих состояние развиваемой системы на двух уровнях: на уровне координатора инвестиций и на уровне некоторого вида транспорта. В современных условиях в качестве координатора инвестиций могут выступать профильные министерства, органы исполнительной власти регионов, советы директоров и собрания акционеров, внешние ведомства и другие инвесторы.

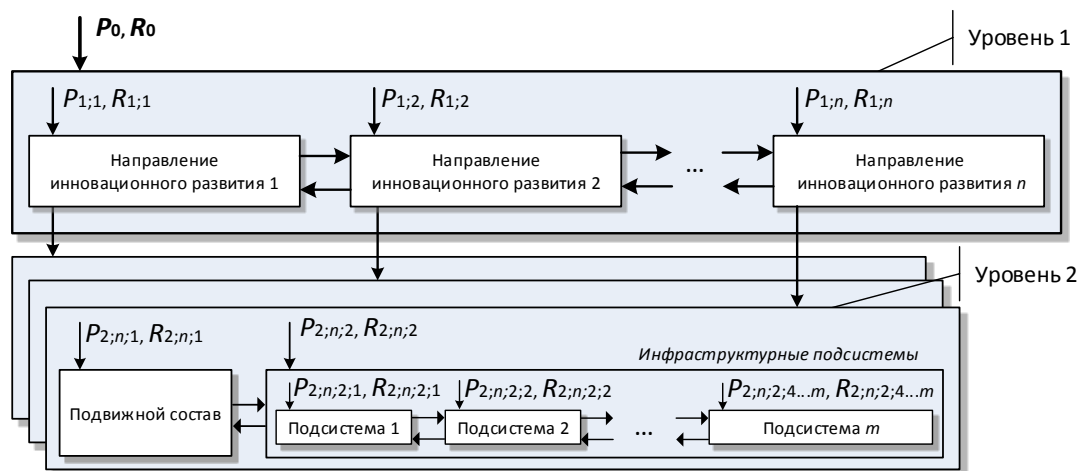


Рисунок 1 – Модель обоснования процедур развития региональной транспортной системы

На первом уровне модели решается задача определения требуемых ресурсов и общих пропорций их распределения между конкретными мероприятиями развития. Входной информацией для решения этой задачи является параметрическая оценка требуемого эффекта развития региональной транспортной системы P_0 и размер выделяемых для этого ресурсов R_0 , которые определяются как результат решения задач более высокого уровня.

Между выделенными подсистемами (мероприятиями развития) существуют взаимосвязи (на рисунке 1 они обозначены горизонтальными линиями), которые проявляются в том, что увеличение мощности потока ресурсов в одной подсистеме позволяет уменьшить ее в другой, в зависимости от значимости реализации направления развития в конкретный промежуток времени [1].

На втором уровне в качестве входных потоков выступают требуемый эффект по конкретному направлению развития и ресурс, выделяемый в соответствующую подсистему транспортной системы (в рассматриваемом примере – подвижной состав и инфраструктурные подсистемы).

Такая постановка задачи формирует основу для реализации процедур инновационного развития транспортной системы региона с учетом динамики, а параметры требуемого эффекта могут быть отражены в ключевых показателях эффективности.

Для методического пояснения излагаемых принципов использования нейронных сетей в качестве инструмента обоснования процедур развития региональной транспортной системы в соответствии с представленной выше моделью (см. рисунок 1), дальнейшие материалы статьи будут отнесены к конкретному примеру в области научных интересов автора – воднотранспортной системе.

По результатам исследования воднотранспортной системы Республики Беларусь и с учетом задач ее развития до 2030 года, автором установлено, что в качестве ключевых показателей эффективности системы целесообразно использовать множество

$$\{P_{\text{ВВТ}}\} = \{p_v, \eta_G, \eta_{Gl}, r\}, \quad (1)$$

где p_v – валовая производительность работы флота на перевозках, т·км/кВт·сут; η_G, η_{Gl} – доли участия внутреннего водного транспорта в транспортной деятельности страны, %; r – инвестиционный ресурс на реализацию варианта, млн USD.

Естественно, при совершенствовании методического аппарата и научного инструментария исследований перечень ключевых показателей эффективности может быть существенно расширен, исходя из направлений развития отрасли и их значимости для экономики страны.

В настоящее время в поддержке инновационных процедур развития экономики региона и ее подсистем резко возрастает роль максимальной интеграции научного сопровождения в жизненные циклы объектов, технологий и процедур, имеющих свою специфику. Практика научного сопровождения технологий, особенно традиционных, выработала богатую методологическую базу их оптимизации, определяемую этой спецификой. Поэтому часто при обеспечении взаимодействия инновационного сопровождения технологий различных жизненных циклов возникают проблемы.

Основной проблемой обеспечения такого взаимодействия является чрезмерная сложность исследуемой системы, которая должна включать в себя подсистемы, характеризующие различные жизненные циклы технологии или объекта. В результате, затраты ресурсного обеспечения процесса оптимизации моделирования с традиционной детализацией многократно возрастают.

Для оптимизации технологических решений в области исследования сложных производственных систем на протяжении десятков лет активно используются методы имитационного моделирования. Эти методы имеют свои достоинства и недостатки, которые определили эффективные сферы своего применения. Имитационные модели сложных систем требуют значительного ресурсного обеспечения, величина которых нелинейно возрастает с увеличением сложности системы (рисунок 2).

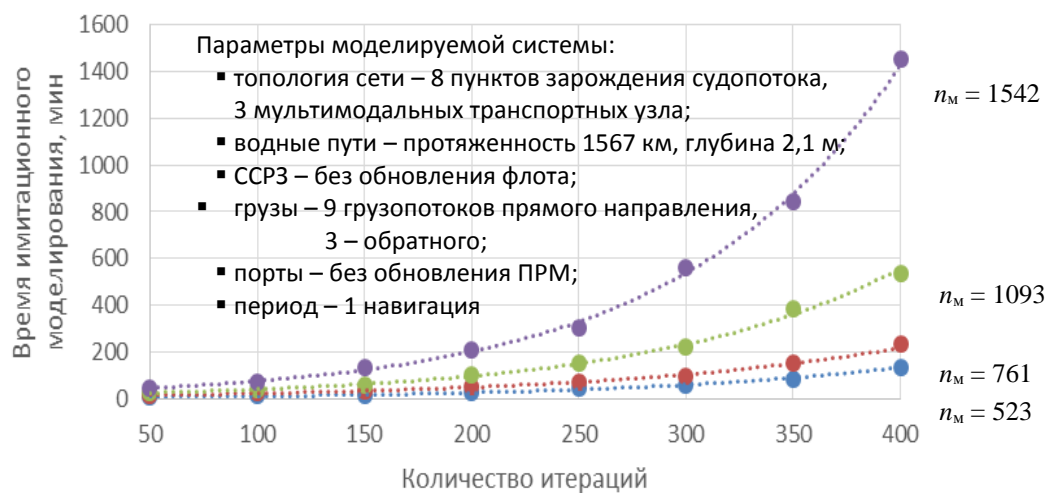


Рисунок 2 – Зависимость затрат времени от сложности моделируемой системы (n_m – количество элементарных модулей)

С одной стороны, уровень развития информационных технологий и программного обеспечения, реализующего принципы имитационного моделирования, позволяет сегодня создавать модели очень высокой сложности. Но с другой стороны, оптимизация технологий, требующая интеграции на различных стадиях жизненного цикла, вариативность принятия решений по реализации технологии с позиции интересов различных координаторов инвестиций, участников технологического процесса, обеспечивают многократный рост сложности модели и требует совершенно иных затрат ресурсов.

Одним из способов реализации компромиссного подхода к решению данной проблемы является совмещение опыта применения методов имитационного моделирования, сформированного за многолетнюю практику и хорошо зарекомендовавшего себя при исследованиях поведения сложных систем, с возможностями современных тенденций применения искусственных нейронных сетей.

Таблица 1 – Результаты имитационного моделирования ключевых показателей эффективности развития воднотранспортной системы Республики Беларусь до 2030 года

Ключевой показатель эффективности	Значение показателя, достигаемое при реализации варианта развития	
	экстенсивного	интенсивного
Валовая производительность флота, т·км/кВт·сут	75,66	368,27
Доля водного транспорта в транспортной деятельности страны, %	в объеме перевозок	7,14
	в грузообороте	0,72
Размер инвестиций, млн USD	206,0	567,3

С позиции разработки эффективной модели развития воднотранспортной системы в долгосрочной перспективе ориентировать регулятора инвестиционных ресурсов на две столь различных стратегии является нецелесообразным. Поэтому для обеспечения требуемой для региона эффективности предлагаемой стратегии развития необходимо задавать не два значения, а их совокупность. В таких условиях высокой значимостью для снижения рисков искажения результатов оптимизации является применение искусственной нейронной сети.

Выбор данного метода, помимо прочих аспектов, послуживших широкому применению его в настоящее время, объясняется простотой адаптации структуры и принципов формирования имитационной модели, построенной по модульному принципу, к структуре нейронной сети. Помимо этого, нейронная сеть оптимально сочетает в себе такие характеристики, как быстроедействие и высокая аппроксимирующая способность, позволяя оценивать влияние качественных и количественных параметров в динамике, что идеально сочетается с актуализацией методов оптимизации развития транспортных систем с процедурами инновационного развития.

Применение нейронной сети в составе методологии обеспечения эффективности перевозок водным транспортом Республики Беларусь базируется на следующих принципах:

- 1) факторы, используемые в качестве входных элементов нейросети, в составе единой методологии, однозначно коррелируются с результатами;
- 2) количество наблюдений за состоянием системы, получаемых на основании результатов имитационного

Исследования, выполненные автором в сфере его научных интересов [1, 2], направленные на развитие воднотранспортной системы Республики Беларусь с ее технологической спецификой и современным подходом к координации инвестиционных ресурсов, позволила сформировать модель и актуализировать ее для процедур инновационного развития отрасли [3]. Предложенная структура модели оптимизации позволяет использовать при математическом описании модульный принцип теории систем, получивший широкое распространение при имитационном моделировании.

Как показывают результаты имитационного моделирования системы организации перевозок внутренним водным транспортом Республики Беларусь до 2030 года, значения результирующего показателя в зависимости от принятого к рассмотрению варианта (экстенсивного или интенсивного) существенно отличаются, как и размеры требуемых инвестиционных ресурсов (таблица 1).

моделирования группы мультимодальных грузовых линий, является более чем достаточным для обучения нейросети;

3) в качестве входных элементов нейросети предлагается использовать непараметрическую зависимость $S = f_1(s_1, s_2, s_3)$, где s_1, s_2, s_3 – переменные, характеризующие вариант развития, соответственно, путевой и портовой инфраструктуры, пополнения флота;

4) в качестве элементов ассоциативного слоя предлагается использовать ключевые показатели эффективности, полученные на основании имитационного моделирования работы групп мультимодальных грузовых линий: $A = f_2(p_v, \eta_G, \eta_{Gl}, r)$, где p_v – валовая производительность работы флота на перевозках, т·км/кВт·сут; η_G, η_{Gl} – доли участия внутреннего водного транспорта в транспортной деятельности Республики Беларусь, %; r – инвестиционный ресурс, требуемый для реализации варианта, млн USD;

5) в качестве результирующего сумматора выступает показатель $P_{ВВТ}$, формируемый по принципу интегрального показателя качества реализации варианта развития;

6) веса (S–A)-связей могут иметь значения $\{-1; 0; +1\}$, (A–R)-связей – нормализованные параметры важности ключевого показателя эффективности w_i в диапазоне (0; 1].

Таким образом, моделируемая нейронная сеть, реализующая принципы оценки эффективности варианта развития воднотранспортной системы, принимает вид элементарного перцептрона, представленного на рисунке 3.

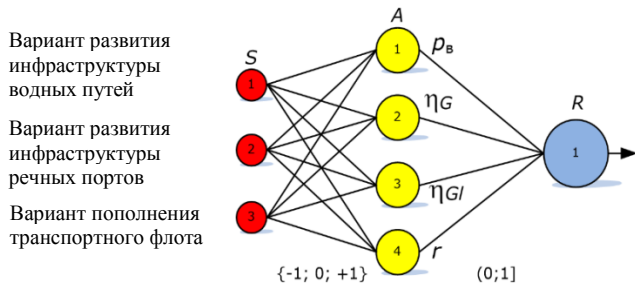


Рисунок 3 – Элементарный перцептрон, моделирующий вариант развития воднотранспортной системы

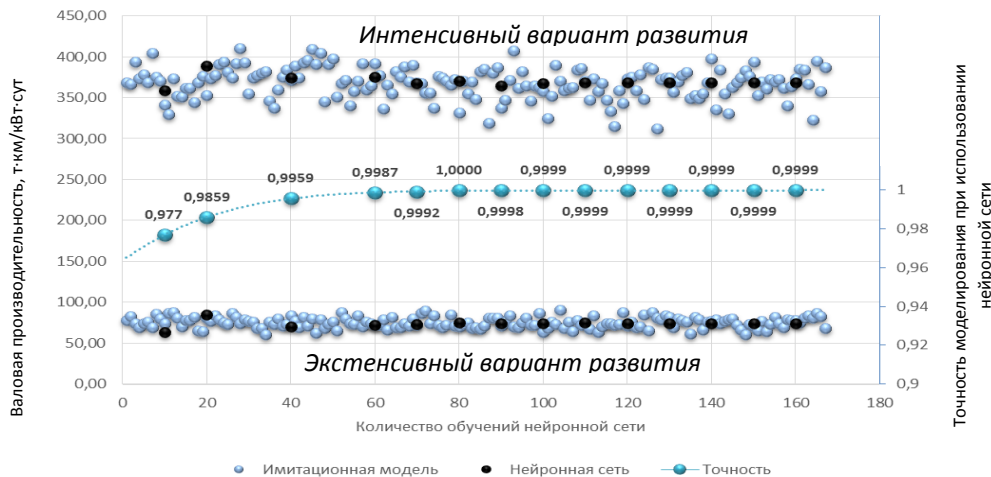


Рисунок 4 – Результаты применения нейронной сети, обученной по результатам имитационного моделирования

Следует отметить, что традиционно применяемые вероятностно-статистические методы прогнозирования результатов развития сложных технических систем в качестве исходных статистических данных на входе модели имеют точечные значения, что затрудняет их применение при оценке результата ввиду возможности появления произвольных неконтролируемых ошибок в динамике, выявляющихся в результате реализации стратегии развития региональной транспортной системы.

В этой связи применение охарактеризованного выше способа совмещения эффектов от традиционных и инновационных способов выполнения научных изысканий, минимизирующий затраты при приемлемой детализации результатов, позволяет реализовать принципы инновационного развития исследуемых систем на уровне их научного сопровождения.

При этом следует отметить, что способ комбинирования имитационной модели с нейронной сетью в составе инструментария прогнозирования развития воднотранспортной системы, предложенный автором, является компромиссным вариантом, имеющим целесообразность применения лишь на начальных этапах реализации инновационных процедур развития транспортного комплекса. На определенном этапе жизненного цикла инноваций в данной сфере гораздо более значимые результаты могут быть достигнуты при разработке более сложных нейрон-

Путем предоставления каждой модели значений факторов множества S из установленных выше диапазонов и обучения нейросети посредством результатов имитационного моделирования (множество A) могут быть получены прогнозные оценки результирующего интегрального показателя обеспечения эффективности перевозок внутренним водным транспортом Республики Беларусь для любого количества дополнительных вариантов.

Зависимость точности прогнозирования с применением нейронной сети относительно результатов имитационного моделирования представлена на рисунке 4.

ных сетей, включающих в свою структуру топологию конкретной имитационной модели и ключевые показатели эффективности. Такая модель может быть использована в качестве основы интеллектуальной системы управления развитием региона или подсистем его экономики, в частности транспортной системы [4].

Список литературы

- 1 Казаков, Н. Н. Перспективные направления развития Белорусского речного пароходства и приоритет их реализации / Н. Н. Казаков, Д. В. Юдин // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2015. – № 2. – С. 28–31.
- 2 Казаков, Н. Н. Необходимые условия обеспечения инновационного развития внутреннего водного транспорта Республики Беларусь / Н. Н. Казаков // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2015. – № 2. – С. 36–38.
- 3 Казаков, Н. Н. Модель реализации процедур инновационного развития региональной транспортной системы / Н. Н. Казаков // Экономическое развитие регионов и приграничных территорий Евразийского экономического союза (ЕАЭС) : сб. науч. тр. – Брянск : БГТУ, 2017. – С. 29–34.
- 4 Ерофеев, А. А. Интеллектуальное управление перевозочным процессом / А. А. Ерофеев // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 4. – С. 74–77.

Получено 23.10. 2018

N. N. Kazakov. Application of neural networks for the selection of the development vector regional transport system.

At present, the methods of applying research tools that make it possible to increase the detail of operational and economic studies and ensure an acceptable level of costs associated with research are of particular importance. The article presents a model for substantiating the procedures for the development of a regional transport system and a list of key performance indicators that are appropriate to apply for the water transport system of the Republic of Belarus. An artificial neural network has been characterized, which can be applied to simulate a variant of the development of a water-transport system. A variant of a combination of simulation results and a neural network in the justifications of the development of a regional transport system is proposed.