

6. Лепехина Ю. А. Анализ производственной деятельности ОАО «НМТП» в контексте современных тенденций на российском рынке перевалки наливных грузов / Ю. А. Лепехина // Журнал Университета водных коммуникаций. — СПб., 2013. — Вып. 1 (17). — С. 115–120.
7. Материалы по системе качества Отдела коммерческой эксплуатации ОАО «Новошип». — Новороссийск, 2010. — 764 с.
8. Морозов Ю. В. Основы маркетинга / Ю. В. Морозов. — М.: Издат. дом «Дашков и К°», 2001. — 156 с.
9. Общая теория статистики: статистическая методология в изучении коммерческой деятельности / под ред. А. А. Спирина — М.: Финансы и статистика, 2004. — 296 с.

УДК 656.61:004

С. В. Глушков,
д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой АИС,
ФБОУ ВПО «Морской государственный
университет им. адм. Г. И. Невельского»;

Н. Г. Левченко,
начальник отдела СИИ ЦИТ,
ФБОУ ВПО «Морской государственный
университет им. адм. Г. И. Невельского»;

Ю. Ю. Почесуева,
аспирант,
ФБОУ ВПО «Морской государственный
университет им. адм. Г. И. Невельского»;

Е. М. Коньков,
генеральный директор ОАО «DDP SERVICE»
(Владивосток)

ПОСТРОЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

DEVELOPMENT OF FUZZY LOGIC NEURAL NETWORKS MODEL OF TRANSPORT-LOGISTICS INFORMATION MANAGEMENT SYSTEM

Предложен метод моделирования слабо формализованного процесса с учетом не только количественных оценок, но и качественных, нечетко заданных, не поддающихся формализации критериев и связей между ними. Модель разрабатывается для последующего исследования этого процесса, прогнозирования его поведения, оптимизации функционирования. Метод базируется на технологии нечетких нейронных сетей. Показан метод оптимизации процесса с использованием факторного анализа.

The proposed modeling method of hard formalized process regards not only qualitative data, but attribute (descriptive) as well as fuzzy defined non-formalized criterion & their connections. The model is developed for further process exploration with it's behavioral forecasting and operational optimization. The method is based on fuzzy neuron nets technology. The operational optimization method is shown with factor analysis.

Ключевые слова: интеллектуальные системы управления, информационная система, моделирование, нейросетевые технологии, нечеткая логика.

Key words: intellectual controlling systems, data system, modeling, neural network technologies, fuzzy logic.

СУЩЕСТВУЕТ основная логистическая миссия, так называемое *правило «7R»*: нужный товар (Right Product) необходимого качества (Right Quality) в необходимом количестве (Right Quantity) должен быть доставлен в нужное время (Right Time) и в нужное место (Right Place) нужному потребителю (Right Customer) с требуемым уровнем затрат (Right Cost). Задачу соблюдения этого правила решает провайдер логистический (PL). Существует пять уровней эволюции PL на основе *инсорсинга* (использование внутренних источников для обеспечения нормального хода производственного процесса) и *аутсорсинга* (использование подряда, привлечение внешних ресурсов для выполнения каких-либо работ, являющихся частью основной деятельности). В настоящее время активно используется 3PL — комплексный логистический сервис, выходящий за пределы простой транспортировки товаров. Например, в перечень услуг 3PL-оператора входит складирование, перегрузка, дополнительные услуги со значительной добавленной стоимостью, а также использование субподрядчиков. Для повышения конкурентоспособности необходимо применять системный подход к управлению всеми логистическими бизнес-процессами, то есть выходить на уровень 4PL, характеризующийся интеграцией всех компаний, вовлеченных в цепь поставки грузов. Впоследствии будет использоваться интернет-логистика, то есть управление всеми компонентами, составляющими единую цепь поставки грузов, с помощью электронных средств информации с использованием всех преимуществ интеллектуального транспортного пространства, то есть уровень 5PL [1, с. 6–9].

Сложность современных транспортно-логистических информационных систем (ИС) и их специализация привели к тому, что для их исследования, изучения свойств, прогнозирования поведения настала необходимость использования имитационного моделирования на основе систем искусственного интеллекта, включающего построение нейросетевой модели. Большую роль играет также выбор определенных технических средств, системного и прикладного программного обеспечения. Усложнение моделируемых объектов, а также неполнота и нечеткость исходной информации (сведения, которые размыты, смутны, неопределенны, неясны или неточны по своей природе), увеличение количества факторов из различных предметных областей приводит к тому, что наиболее подходящим и эффективным методом является метод моделирования с применением нечетких нейросетевых технологий. Основное достоинство этого метода заключается в способности алгоритма подстраивать структуру сети под новые наблюдения (факторы) и выявлять сложные (нелинейные) взаимосвязи между значениями входных и выходных данных [2]. Это гибридные интеллектуальные системы (ГИС), позволяющие более эффективно соединять формализуемые и неформализуемые знания. Они сочетают в себе достоинства нейронных сетей и систем нечеткого вывода, позволяют разрабатывать и представлять наглядные и содержательные модели систем в форме правил нечетких продукций, используя при этом методы нейронных сетей, что является более удобным и менее трудоемким процессом для системных аналитиков [3].

При выборе вида транспорта, оптимального для конкретной перевозки, основываются на следующих факторах:

- время доставки;
- частота отправок груза;
- надежность соблюдения графика доставки;
- способность перевозить разные грузы;
- способность доставки груза в любую точку территории;
- стоимость перевозки.

Построение логистической схемы движения товаров от производителя к потребителю требует организации последовательного использования транспортных средств доставки согласно сопрягаемости их технических и качественных характеристик: грузоподъемность оборудования, грузовместимость транспортного средства и оборудования. При планировании перевозки необходимо соотносить удельную грузовместимость выбираемого транспортного средства с удельным погрузочным объемом груза.

Основой выбора вида транспорта служит информация о характерных особенностях различных видов транспорта.

Автомобильный транспорт характеризуется рядом особенностей: высокая маневренность позволяет организовать перевозку с необходимой степенью срочности, обеспечивает регулярность поставки, по сравнению с другими видами транспорта предъявляются менее жесткие требования к упаковке груза. Скорость такой доставки, особенно при коротких расстояниях, выше, чем на ж/д и водном транспорте, а стоимость доставки может быть ниже. При перевозках на дальние расстояния преимущество автотранспорта теряется вследствие высокой себестоимости перевозок.

Ж/д транспорт характеризуется хорошей приспособленностью для перевозки различных партий грузов при любых погодных условиях. Он обеспечивает возможность доставки грузов на большие расстояния, регулярность перевозок. Удастся хорошо организовать выполнение погрузо-разгрузочных работ. Существенным преимуществом ж/д транспорта является сравнительно невысокая себестоимость перевозки грузов.

Авиационный транспорт по сравнению с другими видами транспорта обеспечивает высокую скорость перевозки грузов на большие расстояния. Однако возможности воздушного транспорта зависят от грузового пространства самолета и состояния взлетно-посадочной полосы аэродромов. Воздушный транспорт имеет преимущества с точки зрения потерь и убытков при транспортировке. Из-за того, что он очень дорогой, его используют только для разовых услуг.

К транспортным средствам водного транспорта относят суда морского и внутреннего водного транспорта. Морской транспорт является самым крупным перевозчиком в международных перевозках. Его основные преимущества — низкие грузовые тарифы и высокая провозная способность. К недостаткам морского транспорта относят его низкую скорость, жесткие требования к упаковке и креплению грузов, малую частоту отправок. Внутренний водный транспорт также характеризуется низкими грузовыми тарифами. К недостаткам, кроме скорости доставки, относят также низкую доступность в географическом плане [4].

Чтобы не усложнять саму нейронную сеть и не увеличивать время расчетов, следует остановиться на перевозке одного определенного вида груза (например, рис) из одного пункта А (например, Вьетнам) в пункт назначения В (например, центральная часть России) разными способами перевозки, включая морской путь, и соответственно различными видами транспорта суши.

Далее определяются оценивающие и влияющие на процесс перевозки факторы, а также их взаимосвязь. Обычно неизвестно все количество влияющих факторов и не все они явные. Поэтому выделяется некоторый набор критериев, который в процессе совершенствования модели может дополняться, не влияя на саму систему, зато качественно улучшая «портрет» объекта исследования.

Затем составляются правила нечетких продукций IF-THEN взаимодействия выявленных факторов. Формируются выборки для обучения нечеткой нейронной сети. Создается имитационная модель транспортно-логистического процесса в вычислительной среде MatLab (использовалась архитектура гибридной нейронной сети ANFIS с логическим выводом Сугено). На тестовых выборках из реальных данных проверяется работа модели и сравниваются результаты при помощи известных математических методов.

Итак, основываясь на знаниях экспертов, руководство и ведущие специалисты транспортно-логистического предприятия, занимающегося международными перевозками грузов, определяют восемь вариантов перевозок и их основные операции:

1. Груз формируется в контейнеры FESCO на складе поставщика — морская перевозка — выгрузка на открытую площадку торгового порта г. Владивостока — ж/д перевозка до склада получателя (рис. 1).

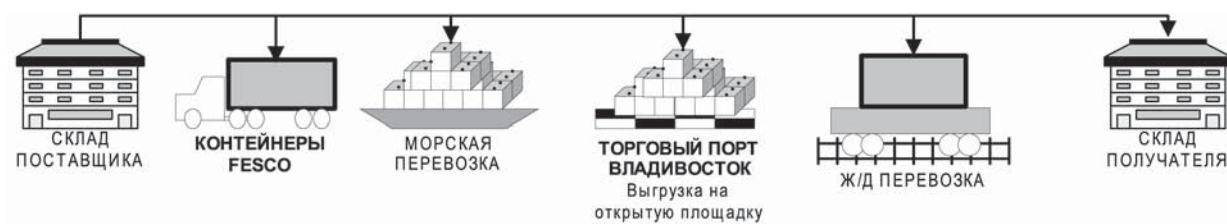


Рис. 1. Первый вариант перевозки

2. Груз формируется в контейнеры SINOKOR на складе поставщика — морская перевозка — выгрузка на открытую площадку рыбного порта г. Владивостока — ж/д перевозка до склада получателя (рис. 2).

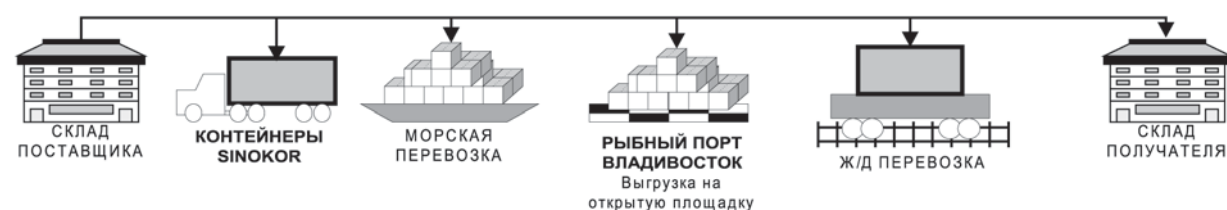


Рис. 2. Второй вариант перевозки

3. Груз формируется навалкой по 3 тыс. т на складе поставщика — морская перевозка — выгрузка на открытую площадку торгового порта г. Владивостока — ж/д перевозка до склада получателя (рис. 3).



Рис. 3. Третий вариант перевозки

4. Груз формируется навалкой по 3 тыс. т на складе поставщика — морская перевозка — выгрузка на открытую площадку рыбного порта г. Владивостока — ж/д перевозка до склада получателя (рис. 4).



Рис. 4. Четвертый вариант перевозки

5. Груз формируется в контейнеры FESCO на складе поставщика — морская перевозка — выгрузка на открытую площадку торгового порта г. Владивостока — автопревозка — выгрузка на складе (г. Владивосток) — ж/д перевозка до склада получателя (рис. 5).



Рис. 5. Пятый вариант перевозки

6. Груз формируется в контейнеры SINOKOR на складе поставщика — морская перевозка — выгрузка на открытую площадку рыбного порта г. Владивостока — автопревозка — выгрузка на складе (г. Владивосток) — ж/д перевозка до склада получателя (рис. 6).



Рис. 6. Шестой вариант перевозки

7. Груз формируется в контейнеры FESCO на складе поставщика — морская перевозка — выгрузка в рыбном порту г. Новороссийска — ж/д перевозка до склада получателя (рис. 7).

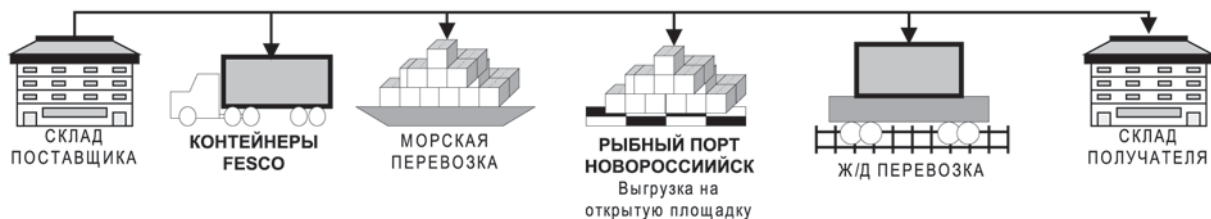


Рис. 7. Седьмой вариант перевозки

8. Груз формируется в контейнеры FESCO на складе поставщика — морская перевозка — выгрузка в рыбном порту г. Санкт-Петербурга — ж/д перевозка до склада получателя (рис. 8).

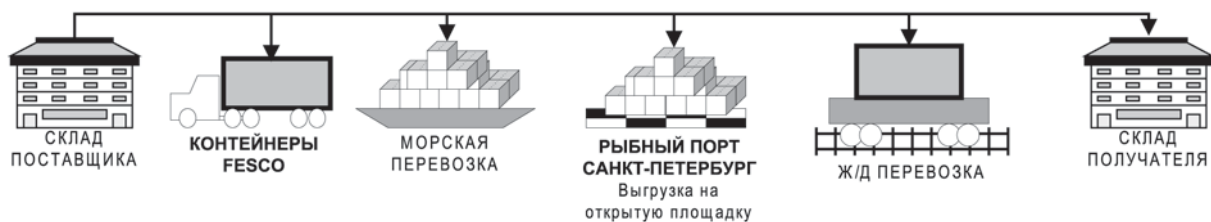


Рис. 8. Восьмой вариант перевозки

Для описания элементов нечеткой нейронной системы в процессе построения модели используются понятия нечеткого множества, лингвистической переменной и выполняется построение функции принадлежности нечетких множеств. Факторы, влияющие на процесс перевозки, определяются качественной оценкой. Так, лингвистическая переменная «отлично» на входе сети будет ограничена оценкой от 9 до 10, а лингвистическая переменная «хорошо» — от 7 до 8 и т. д.

Для построения обучающих выборок составляются правила нечетких продукций IF-THEN. Также учитывается взаимосвязь и значимость факторов относительно друг друга в каждом процессе-блоке (в таблицах ниже факторы расставлены по убыванию значимости). Каждый слой на

выходе определяет эффективность конкретного процесса, и это может быть не только стоимость самого процесса, а также и качество товара на выходе данного слоя (например, была ли потеря при автоперевозке) или время процесса, которое влияет в конечном итоге на быстроту перевозки, что отражается на рентабельности поставки товара. В процессе обучения нейронная сеть откорректирует заданные изначально приоритеты, построит графики функций принадлежности, а также возможные ошибки экспертов поправит весами (рис. 9).

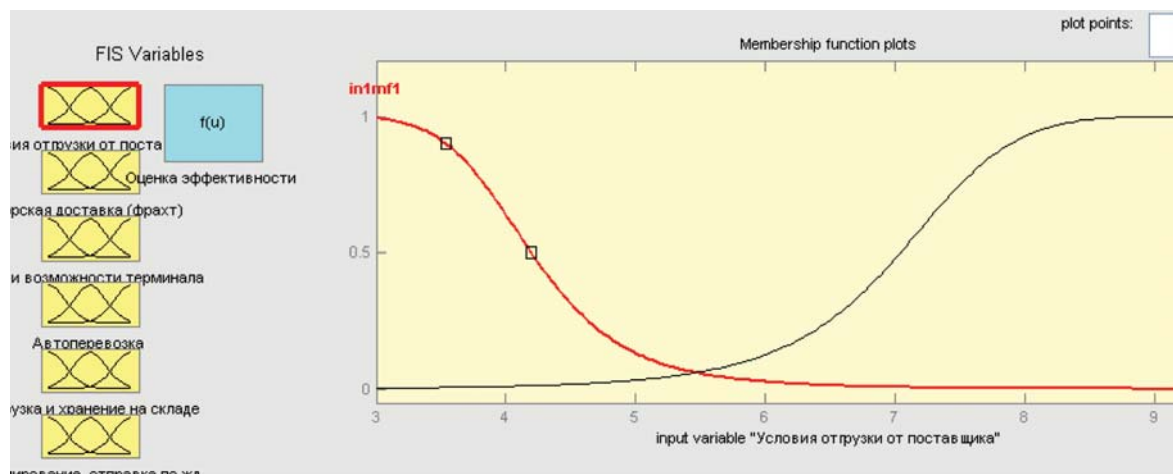


Рис. 9. График настройки параметров функции принадлежности с помощью графических средств системы MatLab

Первый блок системы (рис. 10) — это «Условия отгрузки от поставщика». По опыту экспертов самыми выгодными условиями отгрузки от поставщика являются погрузка в контейнер (например, 20 контейнеров по 25 т каждый), что соответствует заданным вариантам перевозок 1, 2, 5–10, а худшими условиями — навалкой (2000–3000 т), соответственно это варианты 2 и 3.

Основными факторами, влияющими на оценку эффективности в целом по поставке груза, являются «Срок готовности груза к погрузке» и «Порча, убытки». Эти факторы на данном слое нейронной сети являются равнозначными. Выходом данного блока транспортного процесса будет «Оценка эффективности отгрузки».

Следующий блок — «Морская доставка (фрагт)». (Факторы, влияющие на эффективность процесса каждого блока, указаны на рис. 10 в порядке убывания значимости.)

В этом блоке очень сложные взаимосвязи. Так, например, если перевозить груз контейнерами, то значения факторов 1–4 будут выше, чем в случае перевозки навалкой. С другой стороны, значение факторов 3 и 5 не только зависят от способа перевозки, но и взаимосвязаны.

Опыт экспертов показывает, что морская перевозка контейнерами эффективнее перевозки навалкой, так как снижается риск порчи товара, подготовка груза к отправке проходит быстрее, фрагмент осуществить легче.

Третий блок — «Порт и возможности терминала». Важным в определении значений факторов в этом блоке будет мнение экспертов. Они считают, что рыбный порт использовать эффективнее, так как он обладает большей мощностью и свободными местами для выгрузки груза и меньшей стоимостью обработки груза. Груз, доставленный в порт контейнерами, эффективнее обработать, чем навалку.

Четвертый блок — «Автоперевозка».

В вариантах перевозок с 1-го по 4-й блок-процесс автоперевозки отсутствует, поэтому значение входящих и выходящего факторов равны максимальному значению 10.

В остальных вариантах, следуя опыту экспертов, выявляются связи: если автоперевозка осуществляется во Владивостоке, то она дешевле и срок ожидания вывоза короче, так как возможности выбора перевозчика больше, чем в Новороссийске и Санкт-Петербурге.

Пятый блок — «Выгрузка и хранение на складе».

В вариантах перевозок 1 и 2 процесс выгрузки и хранения на складе отсутствует, поэтому значения входящих и выходящего факторов равны максимальному значению 10.

В остальных вариантах следует полагаться на мнение экспертов: склад во Владивостоке лучше, чем в Новороссийске и Санкт-Петербурге, потому что имеет больше мощностей по обработке и места для хранения, а также в случае порчи груза во Владивостоке возмещают убытки.

Шестой блок — «Формирование груза, отправка по ж/д».

По опыту экспертов стоимость перевозки в простом вагоне дешевле, чем платформой для контейнеров, но, тем не менее, в вагоне существует больший риск порчи груза и потери. Эксперты считают, что отправлять груз со своего склада удобнее и быстрее, чем со склада порта, подать ж/д состав к порту намного проблематичнее.

Нечеткая нейросетевая модель состоит из шести блоков-модулей, каждый из которых реализовывает (нечеткой нейронной сетью) один блок соответственно из схем 1–8, представленных выше. И седьмой модуль модели — аккумуляция всех предыдущих модулей, входными данными нечеткой нейронной сети которого являются выходы модулей с 1-го по 6-й. В каждом модуле выделяется определенное количество факторов, влияющих на эффективность как отдельного процесса-блока, так и всей перевозки в целом (рис. 10). Для определения количества и величины каждого фактора и их значимости в каждом модуле следует полагаться на мнение и опыт экспертов.

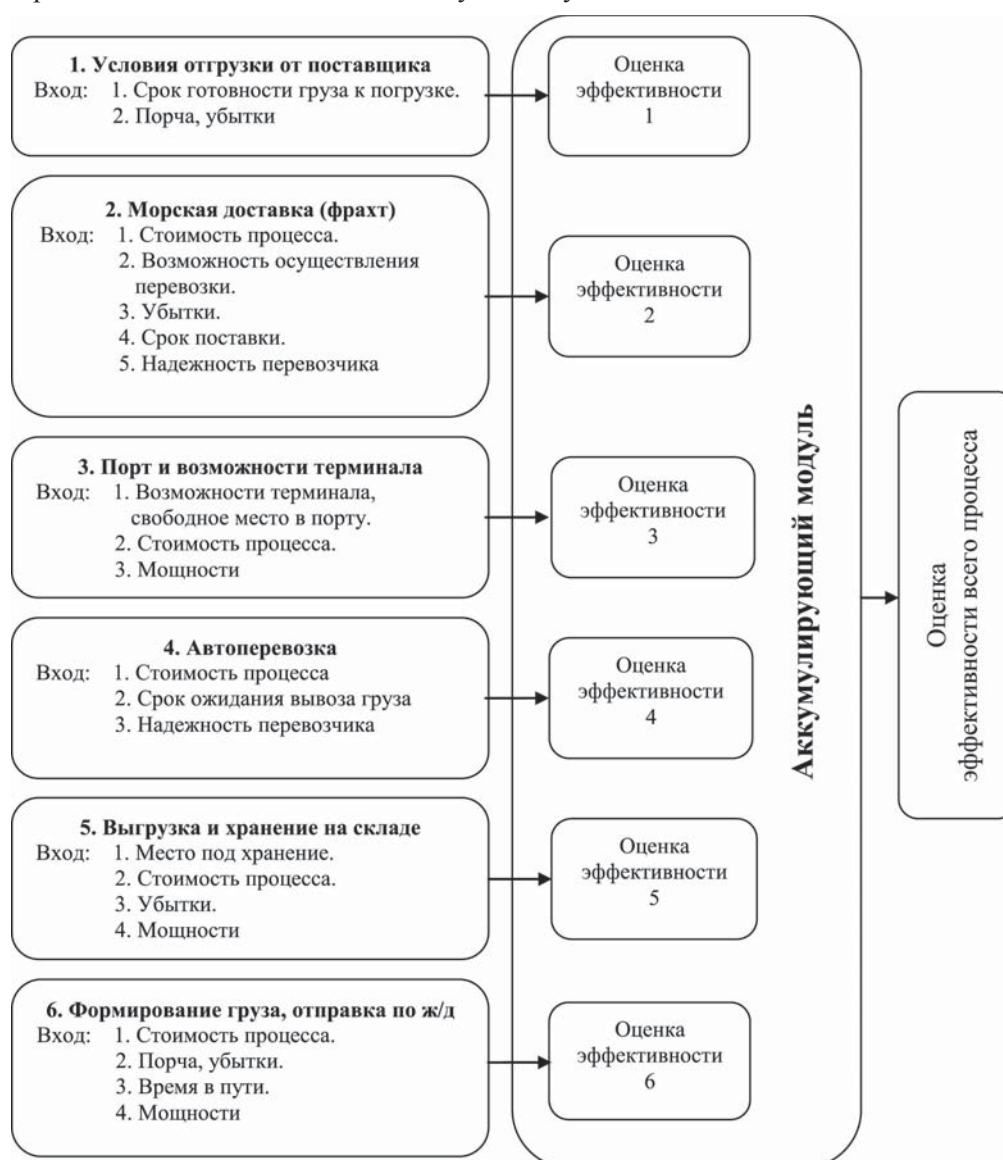


Рис. 10. Нечеткая нейросетевая модель ИСУ транспортного процесса

Обучение сети производилось на обучающих выборках всех 7 схем перевозок, исключая тестовую 6-ю. Тестирование показало высокую точность моделирования.

Например, результаты обучения и тестирования сети на 7-м аккумулярующем блоке показаны в табл. 1 и на рис. 11.

Таблица 1

Процесс обучения и тестирования сети 7-го блока

№ п/п	Условия отгрузки от поставщика	Морская доставка (фрахт)	Порт и возможности терминала	Авто-перевозка	Выгрузка и хранение на складе	Формирование груза, отправка по ж/д	Оценка процесса	Проверка	Δx	δ
6	8	8	8	8	8	7	9	8,98	0,02	0,00
6.1	9	9	9	7	9	8	10	9,63	0,37	0,04
6.2	10	8	10	9	8	8	10	9,89	0,11	0,01
6.3	7	9	10	9	9	7	9	9,01	0,01	0,00
6.4	8	9	8	8	8	8	9	9,36	0,36	0,04
6.5	9	8	9	9	9	8	9	9,23	0,23	0,03
6.6	10	9	9	7	8	8	10	10,30	0,30	0,03
6.7	7	9	9	7	9	7	9	9,23	0,23	0,03
6.8	8	9	8	9	9	8	9	9,01	0,01	0,00
6.9	9	9	9	8	9	7	9	9,16	0,16	0,02
6.10	10	10	10	9	8	7	10	9,89	0,11	0,01
6.11	7	9	10	9	9	8	9	9,13	0,13	0,01
6.12	8	9	8	8	8	8	9	9,16	0,16	0,02
6.13	9	8	9	9	9	8	10	9,87	0,13	0,01
6.14	10	9	10	8	9	7	10	9,01	0,99	0,10
6.15	7	9	8	9	8	8	9	8,96	0,04	0,00
6.16	8	9	9	7	9	8	9	8,87	0,13	0,01
6.17	9	9	10	9	9	7	9	9,20	0,20	0,02
6.18	10	10	9	7	8	8	10	9,89	0,11	0,01
6.19	7	8	9	8	9	8	9	9,02	0,02	0,00
6.20	8	9	9	9	8	8	9	9,03	0,03	0,00
6.21	9	9	8	8	9	7	9	9,30	0,30	0,03
6.22	10	9	9	7	9	8	10	10,20	0,20	0,02
6.23	7	10	10	9	9	7	9	9,04	0,04	0,00

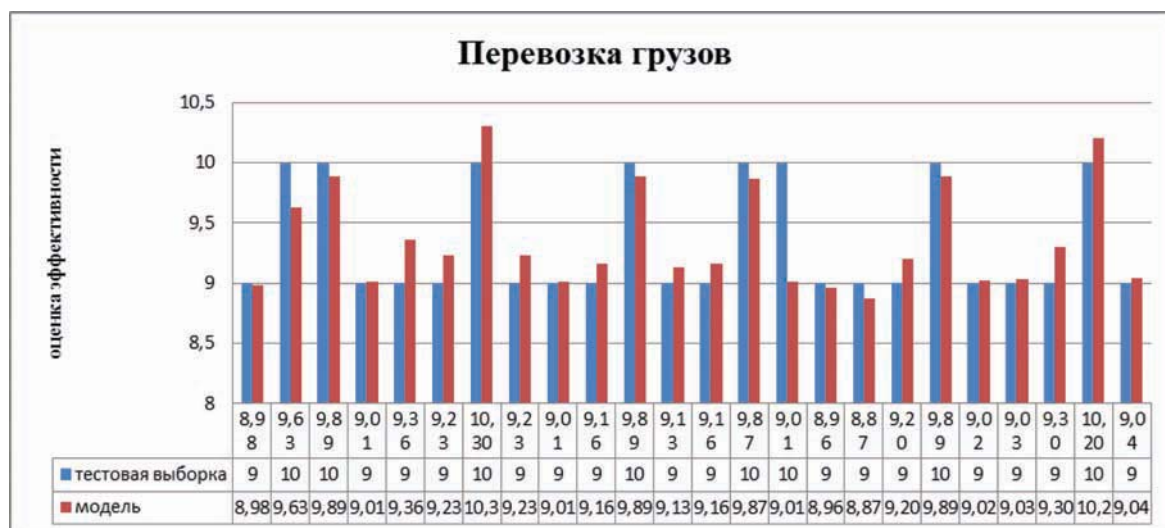


Рис. 11. Гистограмма тестирования аккумулярующего блока

Графический вид зависимости выходной переменной от входных показан в виде поверхности отклика, представленного на рис. 12.

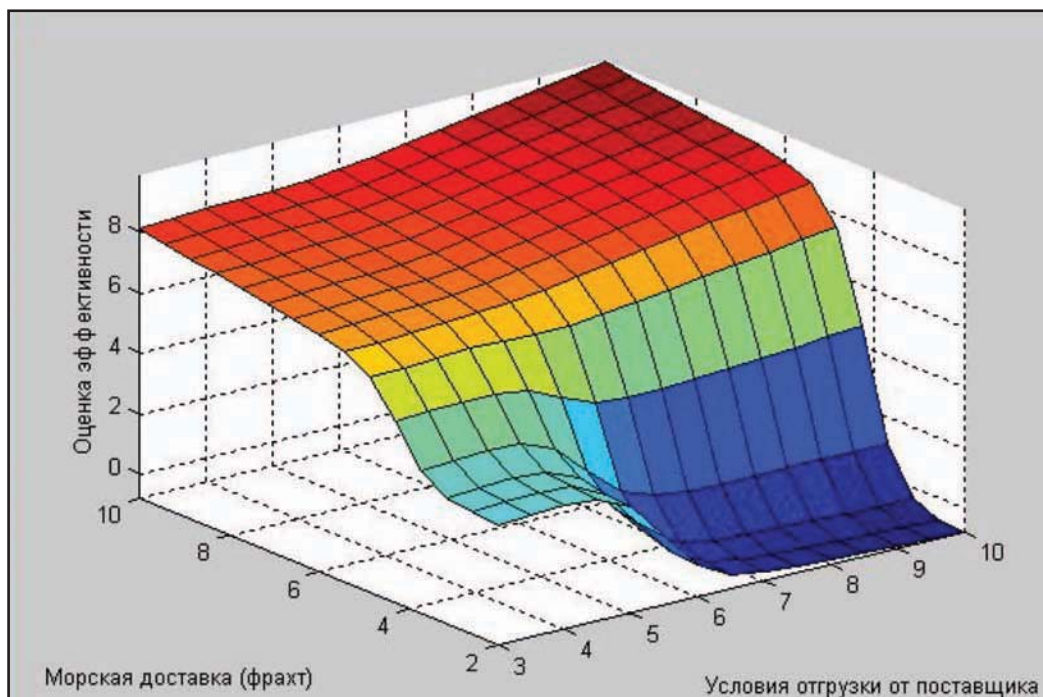


Рис. 12. Графический вид зависимости оценки эффективности от входных факторов

Сравнивая полученные системой оценки с соответствующими оценками эксперта, можно сделать вывод о практически точном совпадении этих значений. Приведенная диаграмма (рис. 11) также подтверждает этот вывод.

Абсолютная погрешность моделирования и относительная, рассчитанные по формулам (1) и (2), находятся в пределах от 0 до 0,99 и от 0 до 0,1 соответственно.

$$\Delta x = |x_{\text{модели}} - x_{\text{тест}}|, \quad (1)$$

$$\delta_x = \frac{|x_{\text{модели}} - x_{\text{тест}}|}{x_{\text{тест}}}. \quad (2)$$

Итак, модель готова к проведению на ней экспериментов.

Для факторного анализа вводятся следующие ограничения величины фактора: в 1-м случае на вход аккумулирующего 7-го блока модели подаются значения модуля 5 «Выгрузка и хранение на складе» 1–2 (лингвистическая переменная «плохо»), во втором случае эти значения 9–10 (лингвистическая переменная «отлично»).

Таблица 2

Факторный анализ. Ограничение фактора «Выгрузка и хранение на складе».

Вариант перевозки 3

№ п/п	Условия отгрузки от поставщика	Морская доставка (фрахт)	Порт и возможности терминала	Авто-перевозка	Выгрузка и хранение на складе	Формирование груза, отправка по ж/д	Оценка процесса эксперта	Оценка процесса модели	Факторный анализ Выгрузка и хранение на складе. Ограничение			
									не более 2	%	не менее 9	%
3	3	4	4	10	5	5	4	3,69	0,69	–81	7,22	96
3.1	5	5	4	10	4	6	5	5,06	2,03	–60	7,36	45
3.2	3	3	4	10	5	5	4	4,22	1,98	–53	7,14	69

Таблица 2
(Окончание)

3.3	5	4	3	10	4	6	4	3,77	1,15	-69	6,66	77
3.4	3	4	4	10	4	5	4	4,23	1,99	-53	7,24	71
3.5	5	5	3	10	4	6	5	5,23	2,03	-61	8,54	63
3.6	7	3	4	10	5	6	5	4,78	2,05	-57	7,21	51
3.7	9	4	4	10	5	6	5	5,01	2,12	-58	7,01	40
3.8	7	4	4	10	4	5	5	5,06	2,16	-57	6,79	34
3.9	9	5	4	10	4	6	5	4,89	2,01	-59	6,94	42
3.10	7	3	4	10	4	5	5	5,01	1,97	-61	7,02	40
3.11	9	4	3	10	4	6	5	5,14	2,56	-50	7,24	41



Рис. 13. Гистограмма факторного анализа

В результате факторный анализ по модулю 5 выявил высокую степень чувствительности модели к изменению значений. Этот вывод подтвердили и эксперты. Исходя из опыта руководящего звена, ведущих специалистов и экспертов этой организации, прежде чем начинать заказывать груз у поставщика, необходимо выяснить наличие места под его хранение на складах. Если не найдется подходящее место для хранения груза, то весь процесс, по мнению экспертов, в большинстве случаев не имеет смысла. Далее, чтобы определить значимость фактора «Место под хранение», проводится обратный процесс: производится перерасчет по 6 вариантам перевозок (за исключением 1-го и 2-го вариантов, где нет этого фактора) в 6 блоках модели.

Таблица 3

Факторный анализ. Ограничение фактора «Место под хранение»

Выгрузка и хранение на складе						Оценка процесса модели	Факторный анализ. Место под хранение — ограничение			
№ п/п	Место под хранение	Стоимость процесса	Убытки	Мощности	Оценка эксперта		не более 2	%	не менее 9	%
3	5	5	5	5	5	5,12	3,22	37	9,3	82
3.1	5	4	4	5	4	4,01	3,24	19	9,23	130
3.2	5	5	4	5	5	4,96	4,15	16	9,35	89

Таблица 3
(Окончание)

3.3	4	4	5	4	4	4,21	3,14	25	9,15	117
3.4	4	5	4	4	4	4,15	3,03	27	9,44	127
3.5	4	4	4	4	4	3,89	3,01	23	9,2	137
4	6	6	6	6	6	5,93	4,36	26	9,12	54
4.1	6	5	6	5	6	6,01	4,23	30	9,14	52
4.2	6	6	5	5	6	6,23	4,24	32	9,16	47
4.3	5	5	6	6	5	5,34	4,26	20	9,25	73
4.4	5	6	5	5	5	5,14	4,3	16	9,44	84
4.5	4	5	6	5	4	3,99	3,12	22	9,36	135
5	8	8	8	8	8	7,85	4,17	47	9	15
5.1	8	8	7	7	8	7,78	4,25	45	9,1	17
5.2	8	7	8	8	8	8,03	4,36	46	9,12	14
5.2	8	7	9	9	8	8,12	4,12	49	9,13	12
5.3	7	8	9	7	7	7,14	4,25	40	9,24	29
5.4	7	8	8	8	7	6,95	4,23	39	9,2	32
5.5	9	7	8	9	8	8,24	4,17	49	9,11	11
6	8	8	9	7	8	8,16	4,12	50	9,12	12
6.1	9	7	9	8	8	8,05	4,35	46	9,19	14
6.2	9	8	7	9	9	9,01	4,26	53	9,3	3
6.3	8	9	9	7	9	9,23	4,31	53	9,2	0
7	4	4	4	4	4	4,14	2,01	51	7,11	72
7.1	3	3	4	3	3	3,02	2,03	33	6,23	106
7.2	3	3	3	5	3	3,06	2,12	31	6,12	100
7.3	3	4	3	5	3	3,09	2,05	34	6,14	99
7.4	3	4	4	4	4	4,1	2,11	49	6,21	51
7.5	4	3	4	3	4	3,97	2,15	46	6,23	57
7.6	4	3	3	5	3	3,12	2,26	28	5,11	64
8	4	4	3	4	4	4,2	2,45	42	5,21	24
8.1	4	4	4	3	4	4,12	2,12	49	5,01	22
8.2	5	4	3	3	4	4,06	2,1	48	5,06	25
8.3	5	5	5	4	5	5,12	2,3	55	6,12	20
8.4	5	3	4	4	4	4,01	2,24	44	5,12	28
8.5	4	4	3	5	4	3,84	2,16	44	5,09	33
8.6	4	5	5	4	5	4,96	3,1	38	6,03	22

По ограничению фактора «Место под хранение» не более 2: максимальное изменение значения в худшую сторону на 55 % (8-й вариант перевозки); минимальное — на 16 % (4-й вариант перевозки).

По ограничению этого же фактора не менее 9: максимальное улучшение значения на 137 % (3-й вариант перевозки); минимальное — на 0 % (6-й вариант перевозки).

Если же рассматривать по каждому варианту перевозки отдельно и в среднем, то максимально и в худшую, и в лучшую сторону модель отреагировала на ограничения фактора в вариантах 3, 4, 7. Эта реакция модели вполне соответствует ожиданию экспертов.

В результате по ограничению фактора «Место под хранение» не более 2: максимальное изменение значения, причем в худшую сторону, на 55 % (8-й вариант перевозки); минимальное — на 16 % (4-й вариант перевозки).

По ограничению этого же фактора не менее 9: максимальное улучшение значения на 137 % (3-й вариант перевозки); минимальное — на 0 % (6-й вариант перевозки).

Если же рассматривать по каждому варианту перевозки отдельно и в среднем, то максимально и в худшую, и в лучшую сторону модель отреагировала на ограничения фактора в вариантах 3, 4, 7.

По оценкам экспертов, анализ показал, что модель адекватно реагирует на изменение факторов и готова для применения в режиме рабочего времени.

Выводы

Таким образом, в статье приведен один из методов моделирования плохо формализованного процесса — транспортно-логистический процесс — с использованием нечетких нейросетевых технологий. Модульная архитектура построенной нечеткой нейросетевой модели транспортно-логистического процесса может быть увеличена при помощи встраивания дополнительных модулей. Это позволит расширить информационную систему управления, увеличить ее возможности за счет детализации имитируемого процесса. Набор влияющих на транспортно-логистический процесс факторов в каждом модуле может дополняться в процессе совершенствования нечеткой нейросетевой модели, не влияя на саму систему (метод решения), зато качественно улучшая «портрет» объекта исследования (изучения) — информационную систему управления транспортно-логистическим процессом. Имитационная модель транспортно-логистического процесса пригодна для последующего исследования реального транспортно-логистического процесса, прогнозирования его поведения, оптимизации функционирования, для анализа различных ситуаций и поведения взаимодействующих элементов. Модель может быть использована для мониторинга и диагностики управленческих решений в динамическом режиме, так как позволяет моделировать реальные события и процессы, прогнозировать и предупреждать критические ситуации.

Список литературы

1. *Степанов А. Л.* Эволюция портов и экспедиторской деятельности — основа транспортной логистики / А. Л. Степанов // Эксплуатация морского транспорта. — 2007. — № 4 (50). — С. 6–9.
2. *Круглов В. В.* Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода / В. В. Круглов, М. И. Дли. — М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2002. — 256 с.
3. *Штовба С. Д.* Проектирование нечетких систем средствами MatLab / С. Д. Штовба. — М.: Горячая линия–Телеком, 2007. — 288 с.
4. *Москаленко М. А.* Устройство и оборудование транспортных средств / М. А. Москаленко, И. Б. Друзь, А. Д. Москаленко. — 2-е изд. — СПб.: Лань, 2013. — 235 с.