

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

© 2020 Р.А. Вахрамеев, М.Н. Толмачёв, В.Н. Афанасьев*

В статье рассматриваются проблемы устойчивости развития агропромышленного комплекса Российской Федерации. Общие положительные оценки экспертов относительно развития отечественного агропромышленного комплекса под влиянием эффекта санкций на деле могут оказаться не столь оптимистичными в долгосрочном периоде, в связи с чем возникает необходимость проведения дополнительного мониторинга складывающейся ситуации, в том числе посредством использования статистических методов глубокого анализа в целях получения достоверных оценок для рассматриваемого предмета исследования. На базе разработанного оригинального подхода к формированию интегрального показателя оценки состояния агропромышленного комплекса предложено осуществить прогнозирование его изменения путем применения нейронных сетей. Поэтапное проведение прогнозирования с помощью нейронных сетей помогло разработать тестовый пример осуществления прогнозов будущих реакций системы на основе ее предшествующего поведения. Данное исследование доказало успешность методов нейронных сетей как самодостаточного инструмента для анализа и прогнозирования динамики изменения состояния агропромышленного комплекса Российской Федерации и изучения устойчивости его развития. Вместе с тем, опираясь на предложенную методику оценки устойчивости развития агропромышленного комплекса, возможно предсказание значений переменных, являющихся опорными индикаторами в процессе принятия различных управленческих решений. Кроме того, разработанная модель прогнозирования при помощи нейросети может выступать в качестве образца для применения и прогнозирования других экономических показателей.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, архитектура модели нейронной сети, имитационное моделирование, нейронная сеть, прогнозирование, прогнозные сценарии, радиальная базисная функция, санкционные ограничения, интегральный показатель оценки состояния АПК, устойчивость развития АПК.

Основные положения:

- ◆ по итогам программного расчета наилучшим видом модели была признана архитектура РБФ 38:38-8-1:1, приведена структурная схема данной модели;
- ◆ реализация прогнозных вариантов событий (оптимистичного, реалистичного, пессимистичного) на основе полученной модели подтвердила общую тенденцию последних лет: ухудшение состояния агропромышленного комплекса Российской Федерации и ослабление его устойчивости в ближайшем будущем;
- ◆ методы прогнозирования, основанные на нейронных сетях, наряду с традиционными методами могут быть успешно использованы в прогнозирующих системах широкого круга.

Введение

Мировой политической кризис, развязавший санкционную войну между Россией и странами Запада, стал предпосылкой для изменения экономики нашей страны. Естественным исходом в сложившихся условиях стало развитие российского агропромышленного комплекса (АПК) в направлении импортоза-

мещения¹. Оценки многочисленных экспертов свидетельствуют об ускорении темпов развития различных сегментов АПК в последние годы и улучшении его состояния в целом². Однако при детальном рассмотрении сфер АПК нельзя признать однозначным позитивный вектор развития всех его аспектов, пренебрежение проведением комплексных

* Вахрамеев Роман Александрович, соискатель кафедры статистики и эконометрики Самарского государственного экономического университета. E-mail: vakhrameevr@gmail.com; Толмачёв Михаил Николаевич, доктор экономических наук, доцент, профессор Департамента учета, анализа и аудита Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, г. Москва. E-mail: tolmachev-mike@yandex.ru; Афанасьев Владимир Николаевич, доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой статистики и эконометрики Оренбургского государственного университета. E-mail: vafanassyev@gmail.com.

исследований АПК ставит его под угрозу упадка в долгосрочной перспективе.

Санкционные ограничения затронули практически все сферы производства. Учитывая слабый уровень развития машиностроения и обрабатывающей промышленности, в Российской Федерации образовался недостаток (а по некоторым направлениям - и дефицит) соответствующих товаров. В этой связи важным вопросом выступает проведение своевременного сбора оперативной статистической информации для формирования представления о состоянии и уровне развития АПК с целью динамического отслеживания тренда устойчивости его развития, в том числе и в предстоящих периодах. Организация подобных исследований в текущий момент времени является весьма актуальной задачей³.

Изучению АПК посвящено немало работ. Отдельные стороны этого весьма емкого объекта исследования были проанализированы особенно детально: временные ряды производственных уровней сельскохозяйственного производства⁴; влияние инноваций на его развитие⁵; современный уровень государственного регулирования и поддержки⁶ и т.д.

Вместе с тем, рассмотрение имеющегося научного задела выявило сравнительно малое число исследований, посвященных изучению устойчивости развития АПК во времени с применением статистического инструментария. Наиболее видным ученым, занимающимся данным вопросом, является В.Н. Афанасьев, систематизировавший накопленную информацию и выявивший, что устойчивость развития АПК определяется тремя моментами: минимизацией неблагоприятных влияний, наличием тенденций и обеспечением постоянной экономической эффективности производства⁷.

При этом существенным пробелом значится отсутствие интегрального показателя, содержательно характеризующего состояние АПК в целом. Наличие подобного показателя не решает в полной мере задач определения и мониторинга состояния АПК, но является дополнительным комплексным описательным параметром складывающейся ситуации в АПК определенной территории. Кроме того, выведенный общий индикатор на основе системного подхода компилирования

различных показателей, характеризующих изучаемый объект исследования, уменьшает возможность обнаружения ошибки репрезентативности, вероятность которой велика при несистемном подходе⁸.

Методы

Источником данных для проведения настоящего исследования послужили официальные сведения Федеральной службы государственной статистики в региональном разрезе⁹, собранные из различных статистических сборников и входящие в сформированную систему статистических показателей устойчивости развития АПК. Указанная система показателей представляет собой характеристики трех общепризнанных сфер АПК: обеспечивающей сферы, сферы сельского хозяйства и сферы реализации. В первоначально отобранную систему показателей вошло 59 результативных и 60 факторных индикаторов по 79 субъектам РФ (за исключением трех автономных округов, входящих в состав укрупненных регионов, а также Республики Крым, Чеченской Республики и г. Севастополь, информация по которым частично или полностью отсутствовала). Формирование интегрального показателя оценки состояния АПК осуществлялось по ранее разработанной методике¹⁰.

После сверстки отобранных показателей в интегральный показатель для каждого региона в отдельности для дальнейшего хода исследования в качестве метода технического анализа применен класс математических моделей - искусственные нейронные сети, реализуемые по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей - сетей нервных клеток живого организма. Выбор в пользу использования нейросетей связан с широкими возможностями нейросетевого моделирования для решения различных задач при недостаточной изученности их применения в анализе устойчивости развития АПК. Кроме того, отличительными особенностями нейронных сетей по сравнению с традиционными методами обработки данных являются¹¹:

- 1) отсутствие каких-либо ограничений на характер входной информации;
- 2) нахождение оптимального решения решаемой задачи;

3) получаемые результаты основываются только на эмпирических наблюдениях об окружающей действительности;

4) возможность построения на их базе прогнозных сценариев развития изучаемого явления.

Методологической основой использования нейронных сетей послужили научные труды по активному исследованию искусственных нейросетевых моделей как подкласса самоорганизующихся сложных динамических систем, развитие которых началось в середине прошлого века. База для дальнейших научных поисков была заложена в работе У.В. МакКаллока и В. Питтса, явившейся одним из первых случаев номинального описания модели искусственной нейросети¹². Помимо этого, среди теоретических поисков, давших толчок развитию применяемого метода, следует выделить труды Д.О. Хебба, обосновавшего возможность имитационного моделирования процессов головного мозга на основе искусственных нейронных сетей¹³, и Ф. Розенблатта, описавшего базовую и актуальную по сей день архитектуру нейронной сети¹⁴.

Опираясь на указанные достижения ученых, было проведено собственное исследование по применению методов искусственных нейронных сетей с целью прогнозирования направления динамики изменения устойчивости развития АПК на основе прогнозных сценариев его состояния в краткосрочном периоде.

Результаты

После формирования системы индикаторов, входящих в предполагаемую модель, на первой стадии реализации метода искусственных нейронных сетей необходимо определить тип архитектуры образующейся сети, или иначе - конструкцию нейронов и связей между ними. Нейрон - основополагающий элемент нейронной сети, единичный, простой вычислительный процессор, способный воспринимать, преобразовывать и распространять сигналы¹⁵. Объединение большого числа нейронов в одну сеть позволяет решать задачи различной сложности.

Нейронные сети не программируются в привычном смысле этого слова, а обучаются с помощью определенного алгоритма, при котором имеющиеся данные используются

для корректировки весов и пороговых значений сети таким образом, чтобы минимизировать ошибку прогноза на обучающем множестве. Хорошо обученная сеть приобретает возможность моделировать функцию, связывающую входные и выходные переменные, и впоследствии такую сеть можно использовать для прогнозирования. С. Хайкин среди фундаментальных классов архитектур нейронных сетей выделяет сети прямого распространения и рекуррентные сети¹⁶.

Применение рекуррентных сетей обуславливается необходимостью запоминания шагов обработки данных и возврата к ним для последовательного решения задач, составляющих поиск путей воспроизведения целостного объекта, разбитого на части. Подобные сети строятся посредством серьезных расчетных действий, что приводит к осложнениям, связанным с созданием многослойности нейронов, приводящих к соответствующим элементам неустойчивости ввиду перманентного изменения весов у произведенных вычислений. В этой связи в данной работе для решения задачи анализа и прогнозирования изменения состояния АПК во времени и изучения его устойчивости используется многослойная сеть прямого распространения, наиболее эффективной из которых является сеть радиальной базисной функции. Реализация данного алгоритма происходит посредством вычисления квадрата расстояния от входного вектора до вектора веса каждого элемента, значение которого впоследствии умножается на соответствующую величину отклонения, разделяя таким образом пространство на гиперсферы¹⁷.

На второй стадии настоящего исследования необходимо сформировать структуру исходной совокупности наблюдаемых признаков для нейронной сети, разбив выборку на три подмножества - обучающее, контрольное и тестовое¹⁸. По наиболее часто применяемым рекомендациям пропорция наблюдений должна составлять 70%, 15% и 15%, соответственно¹⁹.

Третья стадия заключается в непосредственном программном расчете результатов и поиске наиболее оптимальной архитектуры модели нейронной сети. В результате осуществления соответствующих действий наилучшим видом модели была признана архи-

Архитектура : РБФ 38:38-8-1:1 , N = 5
Производительность обуч. = 0,616939 , Контр. производительность = 0,793451 , Тест. производительность = 0,464125

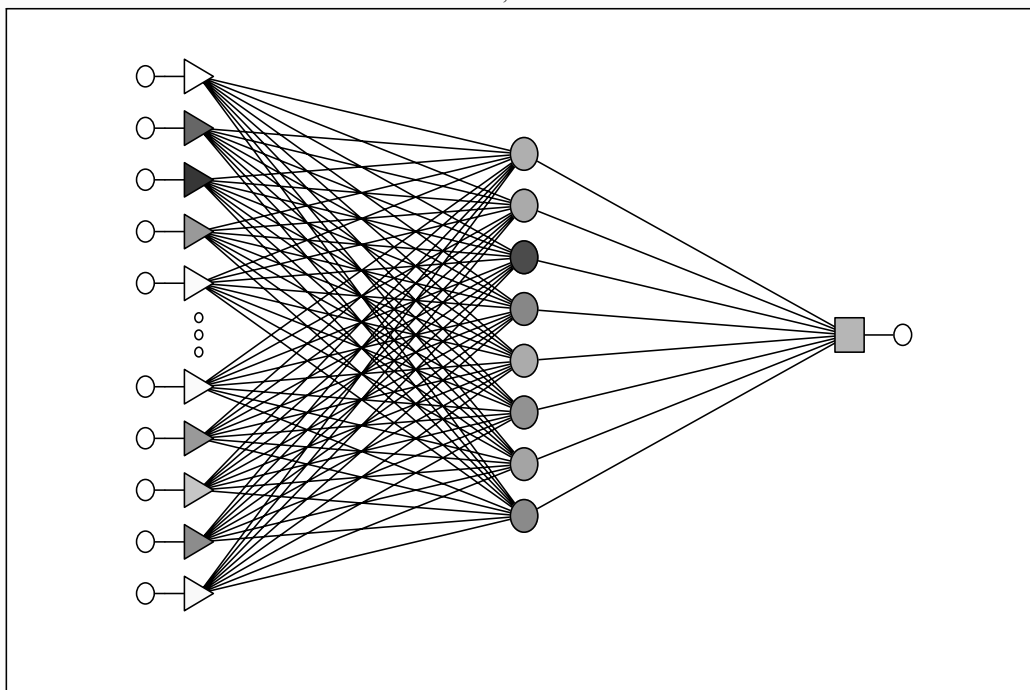


Рис. 1. Структурная схема модели нейронной сети РБФ 38:38-8-1:1

тектура РБФ 38:38-8-1:1, имеющая удовлетворительную производительность (регрессионное отношение по контрольной выборке составило 0,79, ошибка - 7,06). Интерпретируется полученная модель следующим образом: найденная сеть имеет 38 входных нейронов, 8 нейронов скрытого слоя и 1 выходной нейрон (интегральный показатель). Визуальное отображение выведенной модели нейросети изображено на рис. 1, где входные нейроны представлены треугольниками, нейроны скрытого слоя - кругами, выходной нейрон - квадратом. Насыщенность цвета фигур отражает степень их активации, достаточность уровня производительности определена концентрированностью окраса выходного нейрона, сложившейся вследствие силы поступающих сигналов от связанных нейронов скрытого слоя.

Оценка адекватности модели нейронной сети производится по показателям отношения стандартных отклонений ошибки прогноза к стандартному отклонению исходных данных (значение должно быть меньше единицы) и средней ошибки (значение должно стремиться к нулю). Полученная нами модель РБФ 38:38-8-1:1 имеет весьма низкую среднюю ошибку (-0,042) со значением объясня-

ющей дисперсии 34,7%. В этой связи зависимость интегрального показателя оценки состояния АПК от сформированной системы показателей устойчивости развития АПК в целом можно считать весьма пригодной для дальнейшего анализа. Кроме того, оценка нейросетевой модели определяется графиком частот ее остатков (рис. 2). Гистограмма остатков анализируемой модели нейронной сети РБФ 38:38-8-1:1 является наиболее симметричной, что подтверждает предположение о нормальности распределения ее остатков.

Доказав допустимость использования для целей настоящего исследования модели нейронной сети РБФ 38:38-8-1:1, последней, четвертой, стадией станет использование нейросети для создания проекции временного ряда посредством имитационного моделирования возможных значений интегрального показателя оценки состояния АПК РФ. Нейронные сети обладают достаточно высокой точностью прогнозирования экономических систем при одновременном подавлении неточной информации и шумов.

Искомые прогнозные значения выводились при помощи перебора наблюдений и задаваемых параметров нового наблюдения по всем 38 входным нейронам через сформированную

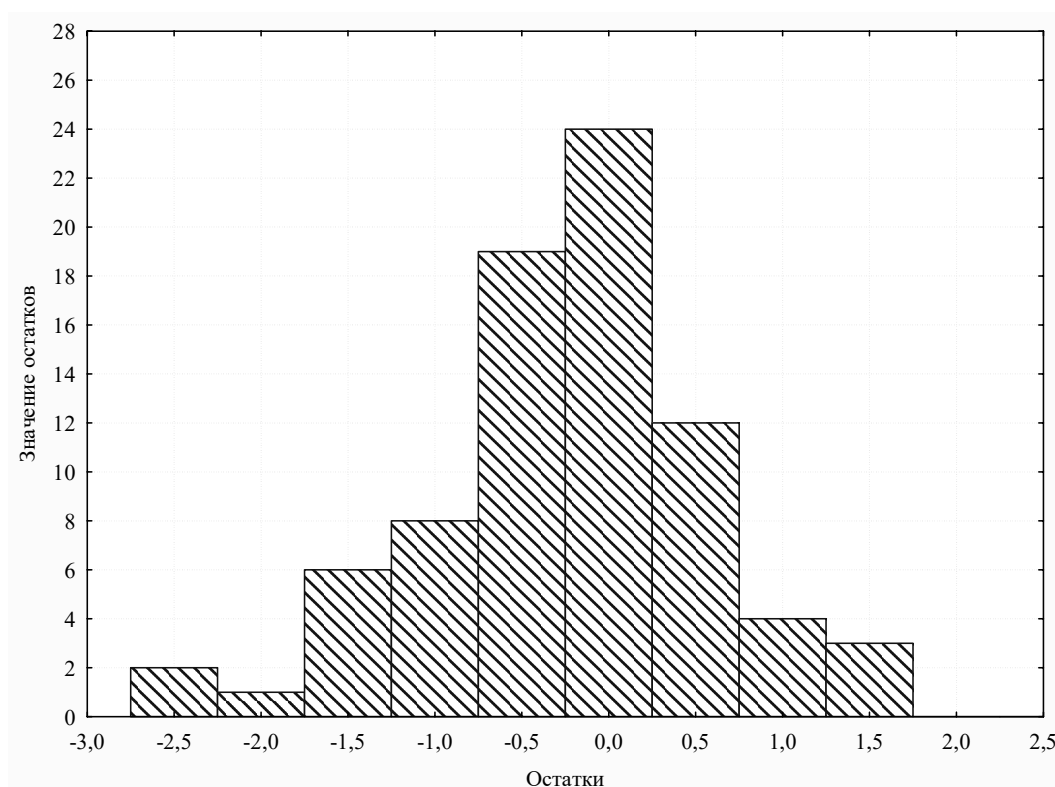


Рис. 2. Гистограмма распределения остатков модели нейронной сети РБФ 38:38-8-1:1

модель нейронной сети: на основе максимальных, средних и минимальных значений по всем наблюдениям каждой независимой переменной и с учетом направленности влияния входных нейронов строились, соответственно, оптимистичный, реалистичный и пессимистичный прогнозы (см. таблицу).

независимых показателей, следствием которых станет ослабленное состояние АПК.

Обсуждение

В ходе исследования нам удалось установить преимущества нейронных сетей по сравнению с традиционными методами обработки

Прогнозные значения интегрального показателя оценки состояния АПК РФ, сформированные по модели нейронной сети РБФ 38:38-8-1:1

Тип прогноза	Прогнозное значение интегрального показателя
Оптимистичный прогноз	0,936
Реалистичный прогноз	0,943
Пессимистичный прогноз	1,056

Анализ полученных результатов прогнозирования свидетельствует о том, что несмотря на достижение максимальных имеющихся значений вошедших в модель показателей, это не приведет к улучшению состояния АПК, согласно принятой методике расчета интегрального показателя оценки состояния АПК РФ, но замедлит наметившуюся тенденцию ухудшения интегрального показателя, ожидаемую в соответствии с реалистичным типом прогноза; пессимистический прогноз складывается при минимальных значениях

данных, выбрать оптимальную структуру модели нейросети (радиальную базисную функцию), применить методы искусственных нейронных сетей при изучении устойчивости развития АПК на основе разработанной ранее методики построения интегрального показателя оценки состояния АПК и получить его прогнозные значения по различным видам сценариев в краткосрочном периоде, выразившиеся в неустойчивости значений и продолжении ухудшения тенденции интегрального показателя, замеченной в предыдущих периодах.

Практическая значимость данного исследования заключается в построении реальной модели искусственной нейронной сети, включающей в себя полную поэтапную реализацию заявленной методики, и ее приложение к такому сложному и многоаспектному объекту исследования, как АПК. Кроме того, применение методов нейросети производилось на основе разработанного ранее интегрального показателя оценки состояния АПК РФ, также показавшего свою состоятельность в прикладном применении. Полученные результаты могут представлять ценность как с точки зрения сделанных качественных выводов, так и с точки зрения количественной оценки эффективности работы нейронной сети.

Заключение

В ходе любого исследования социально-экономических явлений этап прогнозирования выступает ключевой фазой, являющейся основой для принятия взвешенных управленческих решений по предупреждению негативных и содействию позитивным процессам. Основная цель данного этапа - уменьшение риска осуществления неверных действий, последовательность претворения в жизнь которых может повлечь за собой значительные убытки, возникающие в силу неопределенности при отсутствии предположений, сценариев развития дальнейшего хода складывающихся событий.

Применение методов прогнозирования на основе имитационного моделирования с помощью нейронных сетей позволяет дополнить традиционные методы построения прогнозов более мощным методом, способным воспроизводить чрезвычайно сложные внутренние зависимости отобранных в модель показателей и параллельно обрабатывать имеющуюся информацию всеми звеньями сети, приобретая устойчивость к возникающим ошибкам. Вместе с тем, массовое практическое использование моделей искусственных нейронных сетей в качестве самодостаточного инструмента для анализа и прогнозирования различных процессов и явлений требует дальнейшего изучения и апробации, предпосылкой и базисом для которых может считаться проведенное исследование состояния АПК РФ и устойчивости его развития.

¹ Экономика импортозамещения: оценка влияния структуры внешнеторговых товаропотоков на

развитие экономического потенциала и импортозамещения в Российской Федерации / В.С. Осипов [и др.] // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2017. № 7. С. 31-44.

² *Шуварин М.В., Савруков Н.Т.* Не радужные перспективы сельских территорий // Вестник НГИЭИ. 2019. № 4 (95). С. 5-13.

³ *Баканач О.В., Проскурина Н.В., Токарев Ю.А.* Разработка методологии комплексной оценки, моделирование и прогнозирование устойчивого развития социо-эколого-экономических систем // Проблемы развития предприятий: теория и практика. 2018. № 2. С. 11-15.

⁴ *Цыпин А.П.* Статистическое изучение исторических временных рядов сельскохозяйственного производства в России. Оренбург : Тип. ФГБОУ ВПО "ОГИМ", 2012. 122 с.

⁵ *Дорошенко Ю.А., Ковалев А.С.* Оценка эффективности инноваций в АПК // Креативная экономика. 2012. Т. 6, № 3. С. 81-86.

⁶ *Захарова Е.А.* Комплексная оценка эффективности аграрной политики. Система показателей государственного регулирования и поддержки АПК // Российское предпринимательство. 2010. № 4-1. С. 119-124.

⁷ *Афанасьев В.Н.* Статистическое обеспечение проблемы устойчивости сельскохозяйственного производства. Москва : Финансы и статистика, 1996. 320 с.

⁸ *Михайлова Т.М.* Новое в теории статистических показателей и их систем. Санкт-Петербург : Изд-во СПбГУЭФ, 2007. 163 с.

⁹ Федеральная служба государственной статистики : [официальный сайт]. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 08.11.2019).

¹⁰ *Вахрамеев Р.А.* Методика формирования интегрального показателя комплексной оценки устойчивости развития агропромышленного комплекса // Вестник науки Сибири. 2018. № 4 (31). С. 82-92.

¹¹ *Круг П.Г.* Нейронные сети и нейрокомпьютеры. Москва : Изд-во МЭИ, 2002. 176 с.

¹² *McCulloch W.S., Pitts W.* A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity // The Bulletin of Mathematical Biophysics. 1943. Vol. 5. P. 115-133.

¹³ *Hebb D.O.* The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory. New York : Wiley, 1949. 365 p.

¹⁴ *Розенблатт Ф.* Принципы нейродинамики. Перцептроны и теория механизмов мозга. Москва : Мир, 1965. 480 с.

¹⁵ *Костикова Г.Д., Земляков Г.В.* Система оценки проектных решений объектов жилой недвижимости на предынвестиционной стадии с применением технологии нейронных сетей // Наука и техника. 2016. № 6. С. 481-492.

¹⁶ *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс. Москва : Вильямс, 2016. 1104 с.

¹⁷ Боровиков В.П., Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе Statistica в среде Windows: основы теории и интенсивная практика на компьютере. Москва : Финансы и статистика, 2000. 382 с.

¹⁸ Солдатова О.П., Семенов В.В. Применение нейронных сетей для решения задач прогнози-

рования // Исследовано в России. 2009. Т. 136. С. 1270-1276.

¹⁹ Боровиков В.П. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: методология и технологии современного анализа данных. Москва : Горячая линия - Телеком, 2008. 392 с.

Поступила в редакцию 17.01.2020 г.

USING A NEURAL NETWORK TO FORECAST PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX OF THE RUSSIAN FEDERATION

© 2020 R.A. Vahrameev, M.N. Tolmachev, V.N. Afanasiev*

The article raises the problem of sustainable development of the agro-industrial complex of the Russian Federation. The overall positive assessments of experts regarding the development of the domestic agro-industrial complex under the influence of the sanctions effect may in fact be less optimistic in the long term, which makes it necessary to conduct additional monitoring of the current situation, including through the use of statistical methods of in-depth analysis in order to obtain reliable estimates for the subject under consideration. Based on the developed original approach to the formation of an integral indicator for assessing the state of the agro-industrial complex, it is proposed to forecast its changes by using neural networks. Step-by-step forecasting using neural networks helped to develop a test case for predicting future system responses based on previous behavior. This study proved the success of neural network methods as a self-sufficient tool for analyzing and predicting the dynamics of changes in the state of the agro-industrial complex of the Russian Federation and studying the sustainability of its development. At the same time, based on the proposed methodology for assessing the sustainability of the agro-industrial complex, it is possible to predict the values of variables that are reference indicators in the process of making various management decisions. In addition, the developed model of forecasting using a neural network can serve as a model for applying and forecasting other economic indicators.

Keywords: agro-industrial complex, a neural network model architecture, simulation modeling, neural network, forecasting, forecast scenarios, radial basis function, sanction restrictions, integral indicator of the agro-industrial complex state assessment, the sustainability of agro-industrial complex development.

Highlights:

- ◆ based on the results of the program calculation, the RBF architecture 38:38-8-1:1 was recognized as the best type of model, the structural scheme of this model is given;
- ◆ the implementation of forecast variants of events (optimistic, realistic, pessimistic) on the basis of the obtained model confirmed the general trend of recent years: the deterioration of the agro-industrial complex state of the Russian Federation and the weakening of its stability in the near future;
- ◆ forecasting methods based on neural networks, along with traditional methods, can be successfully used in forecasting systems of a wide range.

* Roman A. Vakhrameev, Applicant of the Department of Statistics and Econometrics at Samara State University of Economics. E-mail: vakhrameevr@gmail.com; Mikhail N. Tolmachev, Doctor of Economics, Associate Professor, Professor of the Department of Accounting, Analysis and Audit of the Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow. E-mail: tolmachev-mike@yandex.ru; Vladimir N. Afanasiev, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Statistics and Econometrics of Orenburg State University. E-mail: vafanassyev@gmail.com.

Received for publication on 17.01.2020