

УДК: 634.11:631.524]:51-7

UDC: 634.11:631.524]:51-7

**АКТУАЛИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
МАТЕМАТИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В  
СЕЛЕКЦИИ ЯБЛОНИ НА ЗАДАННЫЕ  
ПРИЗНАКИ**

**ACTUALIZATION OF USING  
MATHEMATICAL MODELS IN APPLE-TREE  
SELECTION ON THE GIVEN SIGNS**

Дубравина Ирина Викторовна  
к.б.н., доцент

Dubravina Irina Victorovna  
Cand.Biol.Sci., associate professor

Пермякова Светлана Валерьевна  
к.т.н., доцент  
*Кубанский государственный аграрный  
университет, Краснодар, Россия*

Permyakova Svetlana Valeryevna  
Cand.Tech.Sci., associate professor  
*Kuban State Agrarian University,  
Krasnodar, Russia*

Показана возможность оценки гибридного потомства яблони на отношение к засухе с помощью математического моделирования. Разработана математическая модель прогнозного характера по оценке генотипов яблони к указанному стрессору. Предложены пути оптимизации проведения отбора гибридного потомства в современных селекционных программах

There was shown the possibility of assessment of hybrid apple-tree posterity on relation to the drought with the help of mathematical modeling. There was worked out the mathematical model of prognosis character on assessment of apple-tree genotypes to the given stressor. There were offered ways of optimization of hybrid posterity selection conducting in modern selection programs

Ключевые слова: ЯБЛОНЯ, СЕЛЕКЦИЯ, ЗАСУХА, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗНОГО ХАРАКТЕРА, ОТБОР ГИБРИДНОГО ПОТОМСТВА

Keywords: APPLE TREE, SELECTION, DROUGHT, PROGNOSIS MATHEMATICAL MODEL, SELECTION OF HYBRID POSTERITY

Инновационные подходы в сфере АПК реализуются в различных направлениях его развития, формируя комплекс мероприятий, направленных на оптимизацию отдельных секторов комплекса. Так, распространенными и широко изучаемыми являются оптимизационные методы (симплексный), распределительные задачи и т.д. Они сосредоточены, в основном, в экономической сфере агробизнеса и носят характер рассредоточения имеющихся в распоряжении ресурсов, таким образом, чтобы получить наилучший результат.

Чаще всего в этих случаях, под результатом понимают некую экономическую выгоду, которая может выглядеть как максимальный (доход/прибыль) или минимальный (издержки/убыток) показатель эффективности при распоряжении имеющихся основных и оборотных средств аграрного предприятия.

В первую очередь при снижении затрат и повышении эффекта от мероприятий в сельскохозяйственном производстве занимаются двумя группами факторов:

- внешними – это налогообложение, ценообразование, дотации, кредитная политика государства в сфере сельского хозяйства и т.д.;
- внутренними – себестоимость продукции, урожайность культур, трудоемкость, затратность и др.

Имеются и прогнозные сценарии, которые позволяют предсказывать прибыль/убыток, исходя из статистического анализа имеющихся данных, однако и они относятся к экономической сфере сельского хозяйства.

В плодководстве и при реализации селекционных программ по созданию генотипов с заданными свойствами, использование математических аппаратов затруднено в силу множественного влияния факторов на конечный результат и его непредсказуемостью, в силу высокой гетерозиготности яблони, при выведении генотипа гибрида с заданными параметрами.

Ситуация в этой сфере осложнена и последствиями системного кризиса Российского общества, прошедшего в 90-х годах 20-го столетия, который привел не только к деградации многих технологических укладов (аграрного, индустриального, информационного...) но и к архаизации структур в некоторых этих областях (Барашов, 2005).

Поэтому сегодняшний рост инновационной активности и в аграрном секторе связан со сменой и формированием укладов (Лапшина, 2005).

В области плодководства стратегическими целями обеспечения инновационных процессов является:

- разработка и практическое применение ресурсосберегающих, экологически безопасных технологий путем повышения генетического потенциала плодовых культур;

- использование прогрессивных методов селекции для создания сортов с повышенными показателями адаптивности, продуктивности и качества;

- разработка интегрированных и специализированных систем;

- накопление информации по изучению генетических ресурсов

- моделирование селекционных процессов;

- создание и развитие всероссийских и всемирных банков данных по плодовым культурам. Таким образом, инновационный прорыв в селекционной работе с плодовыми культурами, частности, яблони возможен как на основе усовершенствования традиционных методов и методик, так и путем внедрения современных технологий диагностирования свойств гибридного потомства с помощью прогнозных математических моделей.

На основании вышесказанного нами была разработана математическая модель, способствующая ускорению отбора в селекции и тем самым снижению трудоемкости и затратности этого этапа.

Математическо-информационной платформой модели являются нейронные сети.

Такой подход позволяет пополнять множество элементов системы (путем увеличения нейронной сети модели) и расширять имеющуюся базу данных (увеличивать информационное поле системы).

В селекции плодовых культур, в том числе и яблони, очень велика трудоемкость на этапе отборов гибридного потомства, что обусловлена многолетним жизненным циклом культур и невозможностью выявить ценные признаки в первые годы жизни выделенного растения. Это влечет необходимость дальнейшего изучения большего количества выборки, что в конечном итоге далеко не всегда дает положительные результаты.

Поэтому возможность математических моделей с использованием нейронных сетей позволяет не просто действовать, по уже заложенному

алгоритму, но и находить закономерности в поступающей информации, производить ее анализ, обработку и на основании этого прогнозировать в дальнейшем возможные сценарии событий.

Искусственные нейронные сети имитируют деятельность головного мозга человека. Они способны к самообучению и параллельной обработке данных. Алгоритмы искусственного интеллекта относятся к классу эвристических задач, где происходит последовательное улучшение решений.

Нейрон представляет собой клетку, которая имеет множество разветвленных отростков, называемых дендритами и одну ветвь – аксон. Дендриты принимают сигналы от других нейронов. Когда сумма этих импульсов превышает некоторую границу, нейрон сам возбуждается, и импульс, или «сигналы», проходят по аксону. Разветвления на конце аксона образуют синапсы с дендритами других нейронов. Синапс – это точка контакта между нейронами. Такое описание нейрона необычайно просто, но оно передает основные черты, существенные в нейронных вычислительных моделях. (Д.Ф Люгер., 2003).

Упрощенная схема нейрона представлена на рисунке 1.

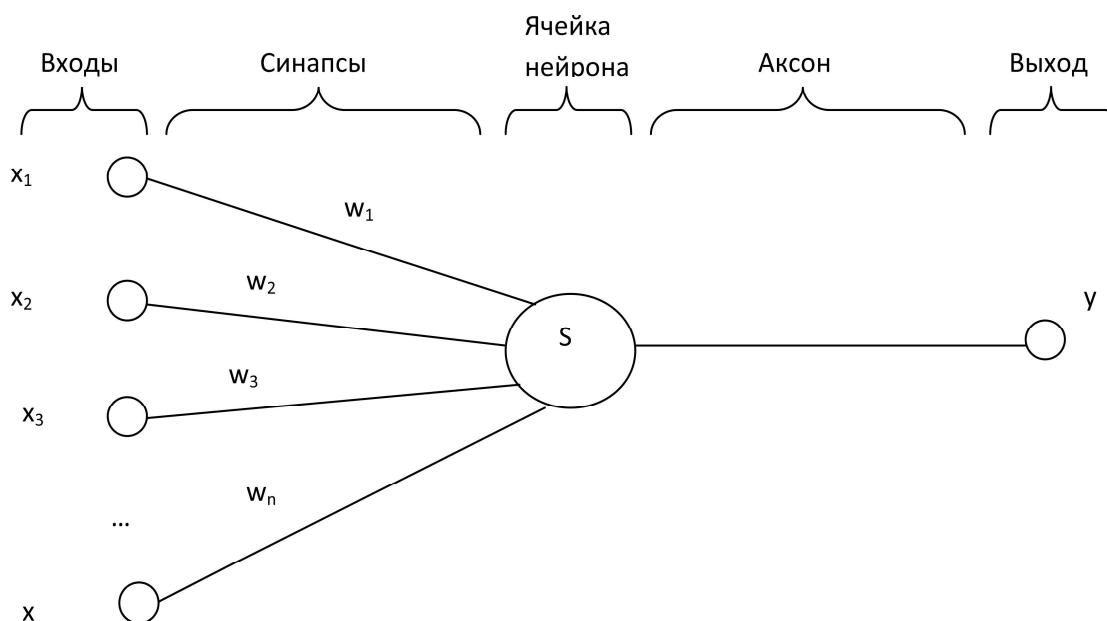


Рис.1 – Общая схема нейрона.

Каждый вычислительный элемент системы подсчитывает значение некоторой функции своих входов и передает результат к присоединенным к нему элементам сети.

Нейронные системы несут на себе множество функций, среди которых выделяют аппроксимацию, интерполяцию и прогнозную. В нашем случае задача сводится к идентификации и обработки сигналов, т.е. аппроксимации с последующим прогнозированием сценариев.

При решении прогнозирования роль нейронной сети состоит в предсказании будущей реакции системы по ее предшествующему поведению. Обладая информацией о значениях переменных  $x$  в моменты времени, предшествующие прогнозированию  $x(k-1)$ ,  $x(k-2)$ , ...,  $x(k-N)$ , сеть вырабатывает решение, каким будет наиболее вероятное значение последовательности  $x(k)$  в текущий момент (С.М. Медведев, 2008).

Нейронная сеть поддается обучению, под которым как раз и понимают процесс нахождения зависимости между входными и выходными сигналами. Для этого каждый  $x_i$  сигнал суммируется с соответствующим коэффициентом  $w_{ij}$ . Положительные значения, рассчитанных коэффициентов, соответствуют возбуждающим сигналам (синапсам) нервной системы, а отрицательные – тормозящим. Это необходимо, чтобы верно учитывать влияние каждого сигнала на изменения внутри математической модели. Подбор весовых коэффициентов  $w_{ij}$  должен приводить с каждым шагом ко все более меньшей ошибке или отклонению между выходным сигналом  $y_i$  и ожидаемым  $d_i$ , т.е. тем, который соответствует, в нашем случае, показателю урожайности культуры. Входящие сигналы будут коррелировать между собой в следующей зависимости: максимальное значение оводненности листьев с минимальными показателями водоудерживающей способности (потери воды) и водным дефицитом.

Существует множество алгоритмов обучения нейронной сети:

- сети прямого распространения;

- гибридные сети;
- сети обратного распространения.

Последние, основываются на применении градиентных методов поиска результата.

Так как сеть многослойная, то в ней появляется прослойка скрытых сигналов (синапсов), каждый из которых тоже имеет свой весовой коэффициент, которые необходимо изменять на каждой итерации. Именно на этом и основана идея обучения данного алгоритма. Таким образом, обучение нейронной сети производится по формуле:

$$\Delta w = \eta p(w),$$

где  $\eta$  – коэффициент обучения;

$p(w)$  – направление в многомерном пространстве  $w$ .

Так как каждый синапс имеет вес, то он влияет на состояние нейрона, которое рассчитывается по формуле:

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

где  $n$  – число входов нейрона;

$x_i$  - значение входа  $i$ -го нейрона;

$w_i$  – вес  $i$ -го синапса.

После этого определяется значение аксона нейрона:

$$Y = f(S),$$

где  $f$  – это функция, которая называется активационной.

Функция является связующим звеном, между входящими и исходящим параметрами. Ее выявление и есть причина применения нейронных систем в нашем случае. Часто в качестве активационной функции сигмоид, так как она дифференцируема на всей оси абсцисс и имеет очень простую производную:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}};$$

$$f'(x) = af(x)(1 - f(x)).$$

Для адаптации результата сеть использует понятие погрешности прогнозирования. Соответственно, чем на большем экспериментальном объеме она будет обучена, тем меньшей будет величина возможной ошибки.

В итоге, нами предлагается использовать многослойную нейронную сеть, целью обучения которой, является определение значения весов нейронов всех слоев в сети так, чтобы при заданных параметрах входных значений, получать выходные  $y_i$ , совпадающие с ожидаемыми  $d_i$ , полученными, в свою очередь, экспериментальным путем у аналоговых образцов с требуемым уровнем точности.

В условиях юга России (Северо-Западный Кавказ) все более участвующимися, из стрессоров абиотического характера, являются - засухи. Поэтому гибридное потомство нуждаются в экспресс-оценке на отмеченный стрессор.

Засуха как природное явление – многокомпонентный стрессор. Его условно делят на – *атмосферную, воздушную* (характеризующуюся низкой влажностью воздуха) и *почвенную* (характеризующуюся дефицитом влаги в почве). По продолжительности засухи бывают *длительные и кратковременные*, в зависимости от сезона – *весенние, осенние, летние*. Реакция растений на засуху есть проявление потенциала генотипа на определенной стадии его онтогенеза, которое необязательно проявляются фенотипически, но обязательно, физиологически (И.В. Дубравина, С.В.Пермякова, 2012).

Водообмен плодовых культур изучался многими исследователями как характеристика общего состояния растений. Из работ, посвященных изучению проблемы водообмена и засухоустойчивости плодовых растений, следует отметить исследования М.Д.Кушниренко, 1975; Г.В. Еремина, Семёновой Л.Г., Т.А. Гасановой, 2008; Т.Н.Дорошенко, 1999.

В засушливых условиях, по мнению ряда авторов, П.А. Генкеля 1975, Г.В. Еремина, Т.А. Гасановой 1998, Т.Н. Дорошенко, 1999 и др.

способность использовать и экономно расходовать воду является защитно-приспособительной реакцией устойчивых форм и сортов плодовых растений, которая обусловлена целым рядом внутренних факторов.

Накопленный экспериментальный и теоретический опыт свидетельствует о ряде физиологических параметров, характеризующих отношение растений к засухе. К таким характеристикам следует отнести оводненность листьев, водоудерживающая способность, остаточный водный дефицит. По нашему мнению, совокупный анализ отмеченных показателей водообмена растений может служить критериальным при оценке отношения растений яблони к засухе.

В работах Т.Н.Дорошенко (Дорошенко Т.Н., 1999 ) была доказана возможность и правомерность ранней диагностики хозяйственно-ценных признаков и свойств на 1-ом году жизни многолетнего плодового растения.

Поэтому использование математического моделирования для прогнозирования ценных свойств многолетнего растения яблони в первые годы жизни является не только оправданным, но и обоснованным с биологических (физиологических) позиций жизнедеятельности растений яблони. Это позволит отслеживать гибридное потомство на заданный признак.

Разрабатываемая модель позволит принимать такое решение, из числа возможных, в котором при учете всех факторов, будет оптимизирована общая ценность.

Главным критерием ценности сорта является его хозяйственная урожайность. Поэтому данный показатель был основной, в части достижения желаемого результата при математическом моделировании.

Показатели урожайности сортов, и гибридов яблони являются выходными параметрами модели, которые позволяют говорить о результативности и адекватности построенной в математической модели (у). Наряду с выходными параметрами, запрограммированы и входные



( $x_j$ ), которые, в нашем случае, характеризуют водный режим листьев яблони.

Математическое описание взаимосвязей между основными элементами модели имеет вид:

$$y = f(x_i)$$

Данная модель работает по принципу так называемого «черного ящика», когда известны входные и выходные сигналы и в процессе функционирования системы выявляются внутренние взаимосвязи. Если адаптировать такое описание под наши критериальные параметры, то ее можно представить в виде следующего рисунка (рис.3):

где  $x_1$  – общая оводненность листьев;

$x_2$  – водоудерживающая способность листьев через 2 часа;

$x_3$  – водоудерживающая способность листьев через 4 часа;

$x_4$  – остаточный водный дефицит;

$y$  – урожайность подвойно-сортовой комбинации;

$f$  – искомая нами функция, которая выявит взаимосвязь между показателями засухоустойчивости и урожайности сортов.

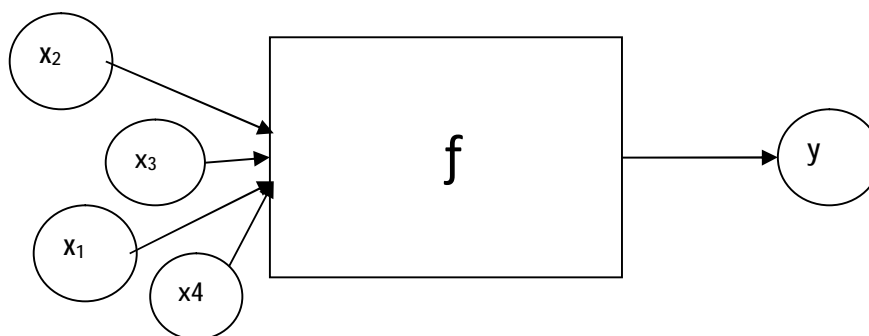


Рис.2 – Схема нейронной сети прогнозирования продуктивности исходного селекционного материала и новых сортов (на примере яблони)

На основе проведенных исследований были собраны и систематизированы экспериментальные показатели за 5 лет исследований.

Для проведения эксперимента и апробации математического аппарата и программного продукта, была сделана выборка по сортам Голден Би, Ренет Симиренко, Honey Strips, Пинова; Флорина, Интерпрайз, средних значений общей оводненности листьев, остаточного водного дефицита, потери воды через за 2 и 4 часа.

После проведения выборки, показатели были внесены в программу для ее апробации.

Для процесса обучения нейронной сети требуется представление всех данных в диапазоне  $[-1;1]$ . В связи с этим требуется нормализовать поля с использованием соответствующих математических подходов (рис. 3).

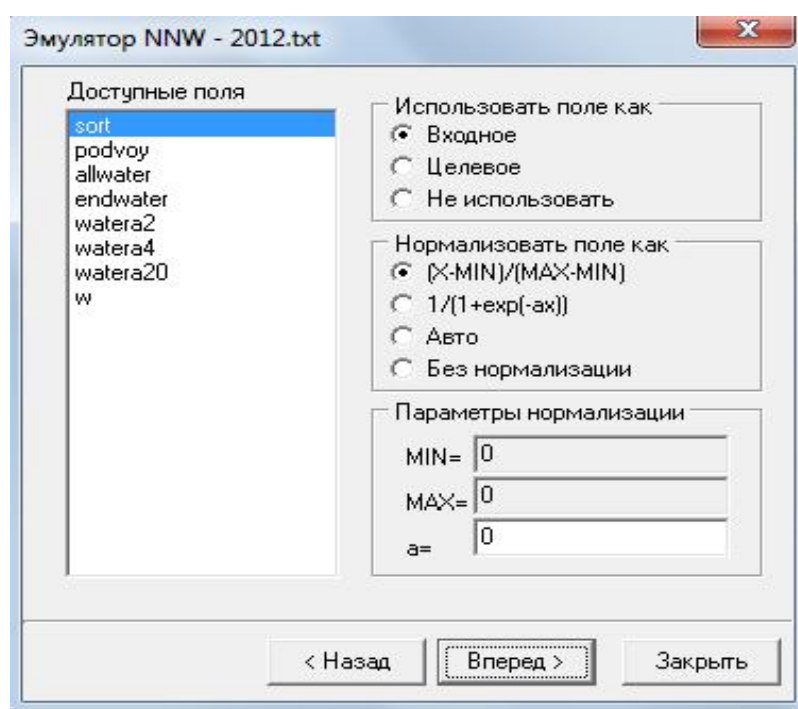


Рис. 3 – Окно представления входной информации.

Часть приведенной выборки используется для обучения, остальная для выявления адекватности работы модели. В нашем примере данный параметр был установлен на уровне 90%. Крутизна сигмоиды зависит от параметра  $a$  и при его уменьшении становится более пологим. Считается, что чем выше крутизна сигмоиды, тем дольше необходимо вести обучение сети (рис.4).

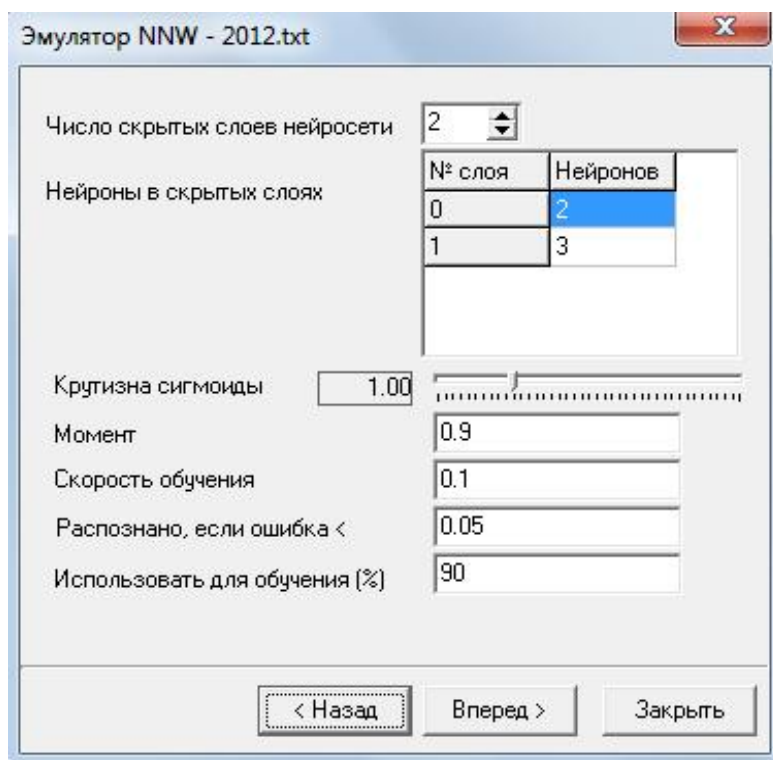


Рис. 4 – Диалоговое окно, для указания основных параметров обучения нейронной сети.

Остановка обучения сети может происходить по одному из следующих параметров, которые указываются в соответствующем окне программы:

- количество пройденных эпох обучения;
- при достижении максимальной ошибки при обучении;
- при достижении средней ошибки при обучении;
- процент распознанных соотношений в обучающей выборке;

- при достижении максимальной ошибки при тестировании;
- при достижении средней ошибки при тестировании;
- процент распознанных соотношений в тестовой выборке.

После выбора условия остановки прогонов обучения сети, происходит непосредственно сам процесс запуска программы на обучение, с получением результатов (рис. 5).

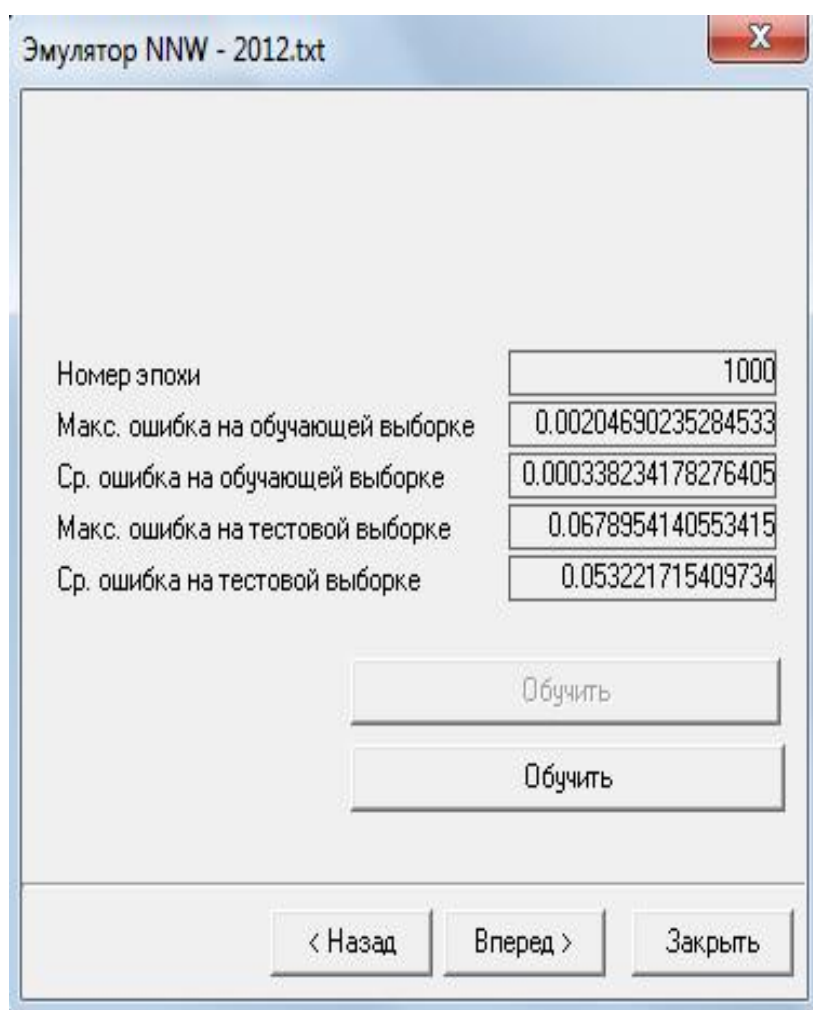
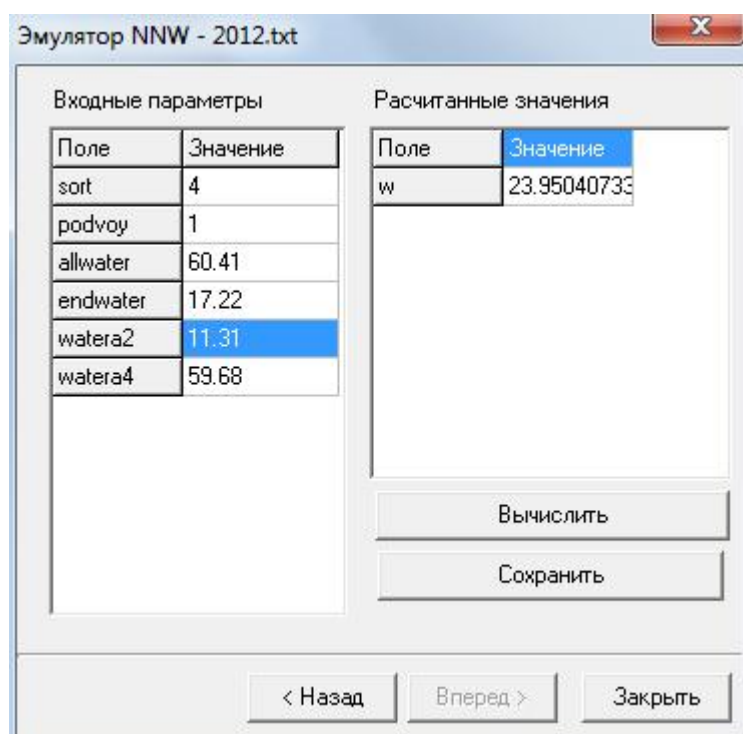


Рис. 5 – Визуализация процесса протекания обучения нейронной сети.

В процессе обучения сеть выявляет взаимосвязи входных и выходного сигнала. Для проверки модели на адекватность использовали

данные, не применяемые при обучении. При этом число тестовых примеров должно быть тем больше, чем выше качество обучения. Если ошибки нейронной сети имеют вероятность близкую к одной миллиардной, то и для подтверждения этой вероятности нужен миллиард тестовых примеров.

Проверочные показатели вносятся на тех же условиях, что и данные для обучения (рис. 6).



The screenshot shows a window titled "Эмулятор NNW - 2012.txt". It contains two tables: "Входные параметры" (Input parameters) and "Расчитанные значения" (Calculated values). The "Входные параметры" table lists parameters like 'sort', 'podvoy', 'allwater', 'endwater', 'watera2', and 'watera4' with their respective values. The "Расчитанные значения" table shows a single calculated value 'w' as 23.95040733. Below the tables are buttons for "Вычислить" (Calculate), "Сохранить" (Save), "< Назад" (Back), "Вперед >" (Forward), and "Закреть" (Close).

Входные параметры		Расчитанные значения	
Поле	Значение	Поле	Значение
sort	4	w	23.95040733
podvoy	1		
allwater	60.41		
endwater	17.22		
watera2	11.31		
watera4	59.68		

Рис. 6 – Окно проверки адекватности работы нейронной сети и вывода результирующего показателя.

По расчетным данным урожайность сорта Пинова на подвое М9 должна была составить 23,95 кг/дереву; по фактическим она составила в 15,7 кг/дереву. Различия с расчетом объясняются разницей в климатических условиях во время вегетации и перезимовки плодовых деревьев в 2009 и 2012 годах. Это явление требует технической

доработки и будет учтено на последующем этапе оптимизации программы в виде дополнительно входящих параметров, отражающих климатическую ситуацию на момент проведения учетов.

Следует отметить, что по мнению ряда авторов (Е.В. Ульяновская, С.Н. Артюх, И.Л. Ефимова, 2012 г.) несмотря на различный генетический контроль признаков устойчивости к засухе, морозам и грибным болезням, признаки влияют друг на друга. Страдающие от засухи растения преждевременно сбрасывают листья и тем самым не в состоянии должным образом подготовиться к перезимовке.

Поэтому с целью повышения эффективности селекционного процесса и ускоренного выделения новых современных сортов, на сегодняшнем этапе существования программы возможно, (при проведении оценки параметров водного режима листьев у испытуемых (создаваемых) генотипов в определенных условиях выращивания), прогнозировать их отношение к засухе и уровень хозяйственной урожайности на ранних отборочных селекционных этапах.

Это позволит вести целенаправленный отбор гибридного потомства, характеризующегося устойчивостью к данному стрессору.

### Литература

1. Медведев С.М. Моделирование эффективности производства в плодово-ягодном подкомплексе АПК // АПК: экономика, управление. – 2008. - №10. – С. 33 – 39.
2. Е.В. Ульяновская, Е.Н. Седов, И.И. Супрун, Г.А. Седышева, З.М. Серова/ Ускоренное создание иммунных к парше сортов яблони с использованием молекулярно-генетических методов исследования/ Е.В. Ульяновская, Е.Н. Седов, И.И. Супрун, Г.А. Седышева, З.М. Серова – Краснодар: ГНУ СкзНИИСиВ Россельхозакадемии, 2011.-55 с.
3. Люгер Д.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем, 4-е издание. : Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 864 с.: ил. – Парал. тит. англ.
4. Оссовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И.Д.Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2002. – с.344
5. Еремин Г.В., Семенова Л.Г., Гасанова Т.А. Физиологические особенности формирования адаптивности, продуктивности и качества плодов у косточковых

культур в предгорной зоне Северо-Западного Кавказа / Г.В Еремин., Л.Г Семенова., Т.А Гасанова; под ред. Г.В. Еремина.- Майкоп: Адыг. Респ. КН. Изд-во, 2008.- 210 с., илл.

6. Дорошенко Т.Н. Физиолого-экологические аспекты южного плодоводства. – Краснодар, 1999.-234 с.

7. Генкель П.А. О состоянии и направлении работ по физиологии жаро- и засухоустойчивости растений/В сб. : Водобмен растений при неблагоприятных условиях среды. – Кишинев: Штиинца,1975. –С. 5-19.

8. Кушниренко М.Д. Водный режим и засухоустойчивость плодовых растений. – Кишинев: Штиинца,1962.-87 с.

### References

1. Medvedev S.M. Modelirovanie jeffektivnosti proizvodstva v plodovo-jagodnom podkomplekse APK // APK: jekonomika, upravlenie. – 2008. - №10. – S. 33 – 39.

2. E.V. Ul'janovskaja,E.N. Sedov, I.I. Suprun, G.A. Sedysheva, Z.M. Serova/ Uskorennoe sozdanie immunnyh k parshe sortov jabloni s ispol'zovaniem molekuljarno-geneticheskikh metodov issledovanija/ E.V. Ul'janovskaja,E.N. Sedov, I.I. Suprun, G.A. Sedysheva, Z.M. Serova – Krasnodar: GNU SkzNIISiV Rossel'hozakademii, 2011.-55 s.

3. Ljuger D.F. Iskusstvennyj intellekt: strategii i metody reshenija slozhnyh problem, 4-e izdanie. : Per. s angl. – М.: Izdatel'skij dom «Vil'jams», 2003. – 864 s.: il. – Paral. tit. angl.

4. Ossovskij S. Nejrornyie seti dlja obrabotki informacii / Per. s pol'skogo I.D.Rudinskogo. – М.: Finansy i statistika, 2002. – s.344

5. Eremin G.V., Semenova L.G., Gasanova T.A. Fiziologicheskie osobennosti formirovanija adaptivnosti, produktivnosti i kachestva plodov u kostochkovykh kul'tur v predgornoj zone Severo-Zapadnogo Kavkaza / G.V Eremin., L.G Semenova., T.A Gasanova; pod red. G.V. Eremina.- Majkeop: Adyg. Rесп. КN. Izd-vo, 2008.- 210 с., ill.

6. Doroshenko T.N. Fiziologo-jekologicheskie aspekty juzhnogo plodovodstva. – Krasndar, 1999.-234 s.

7. Genkel' P.A. O sostojanii i napravlenii rabot po fiziologii zharo- i zasuhoustojchivosti rastenij/V sb. : Vodoobmen rastenij pri neblagoprijatnyh uslovijah sredy. – Kishinev: Shtiinca,1975. –S. 5-19.

8. Kushnirenko M.D. Vodnyj rezhim i zasuhoustojchivost' plodovyh rastenij. – Kishinev: Shtiinca,1962.-87 s.