Таблица – Результаты моделирования НС моделей

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Тип и архитектура НС | Производительность обучения | Тестовая производительность |  | Алгоритм обучения | Оценка обученности | Функция активации | |
|  | скрытых нейронов | выходных нейронов |
| 1 | MLP 439, 183 | 0,889178384 | 0,803359286 | 0,705164184 | BFGS | adaptive | adam | relu |
| 2 | MLP 150, 451 | 0,859657102 | 0,823406477 | 0,777436878 | BFGS | adaptive | adam | tanh |
| 3 | MLP 83, 483 | 0,756595013 | 0,754661671 | 0,671817447 | BFGS | adaptive | adam | logistic |
| 4 | MLP 222, 34, 68 | 0,651454015 | 0,634964076 | 0,587013999 | BFGS | adaptive | adam | identity |
| 5 | MLP 176, 271, 209 | 0,49181278 | 0,420282435 | 0,373391502 | BFGS | adaptive | lbfgs | relu |
| 6 | MLP 155, 128 | 0,800141754 | 0,771425221 | 0,722042253 | BFGS | adaptive | lbfgs | tanh |
| 7 | MLP 70, 169 | 0,82128083 | 0,780126601 | 0,730031526 | BFGS | adaptive | lbfgs | logistic |
| 8 | MLP 287, 287, 90 | 0,721984677 | 0,720513975 | 0,716298307 | BFGS | adaptive | lbfgs | identity |
| 9 | MLP 196 | -0,469084748 | -0,387934821 | -0,006104084 | BFGS | adaptive | sgd | relu |
| 10 | MLP 516, 546 | 0,796521169 | 0,740946058 | 0,700155347 | BFGS | adaptive | sgd | tanh |
| 11 | MLP 506, 542 | 0,804840023 | 0,788433568 | 0,763406103 | BFGS | adaptive | sgd | logistic |
| 12 | MLP 479, 486 | 0,924885543 | 0,862378366 | 0,803216255 | BFGS | adaptive | adam | tanh |
| 13 | MLP 250, 114, 78 | 0,859308163 | 0,800067768 | 0,759059418 | BFGS | adaptive | lbfgs | logistic |
| 14 | MLP 545, 471 | 0,800147096 | 0,783549725 | 0,760822369 | BFGS | adaptive | sgd | logistic |
| 15 | MLP 229, 276 | 0,866166831 | 0,812584216 | 0,770127495 | BFGS | adaptive | adam | tanh |

Согласно представленным результатам имитационного моделирования НС моделей по показателям производительности обучения и тестовой производительности были выбраны две реализации:

– №5 НС модель *MLP* 9-5-4, у которой 9 нейронов на входе, 5 нейронов на скрытом слое и 4 нейрона на выходе НС;

– №7 НС модель *MLP* 9-12-4, у которой 9 нейронов на входе, 12 нейронов на скрытом слое и 4 нейрона на выходе НС;

Характеристики НС моделей:

– алгоритм обучения НС модели Бройдена-Флетчера-Гольдфарба-Шанно(BFGS);

– функция ошибки вида *Entropy*, которая является основой построения любого алгоритма обучения НС модели;

– функция активации нейронов скрытого слоя НС вида гиперболический тангенс *Than* для№7 НС модели *MLP* 9-12-4 и логистическая *Logistic* для№5 НС модели *MLP* 9-5-4,

экспоненциальное распределение функции активации выходных нейронов типа *Softmax*.

Алгоритм обучения BFGS представляет собой итерационный метод численной оптимизации, предназначенный для нахождения локального максимума или минимума нелинейного функционала без ограничений. Данный алгоритм считается наиболее широко применяемым квазиньютоновским методом. Алгоритм BFGS решает задачу итерационно, с помощью разложения функции в полином второй степени:



где *H* – гессиан функционала *f* в точке *x*. Зачастую вычисление гессиана трудоемки, поэтому алгоритм BFGS вместо настоящего значения *H(x)* вычисляет приближенное значение *Bk*, после чего находит минимум полученной квадратичной задачи [56]:



В качестве начального приближения гессиана можно брать любую невырожденную, хорошо обусловленную матрицу. Часто берут единичную матрицу. Приближенное значение гессиана на следующем шаге вычисляется по формуле [56]:



где *sk = xk+1 - xk* – шаг алгоритма на итерации,  – изменение градиента на итерации.

Поскольку вычисление обратной матрицы вычислительно сложно, вместо того, чтобы вычислять *Bk*, обновляется обратная *Bk* матрица :



Чувствительность реализованной НС модели дает представление о том, как входные значения диагностических параметров влияют на принятие решения. Значение чувствительности зависит от функции ошибки, которая должна быть минимизирована путем настройки весовых коэффициентов.

Получены зависимости, позволяющие оценивать вероятность формирования оценок от пары выбранных параметров, которые имеют сложную нелинейную зависимость.