

Соловійов А.І.,

к.е.н., доцент,

декан факультету економіки і менеджменту,  
Херсонський державний університет

## ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АДАПТИВНИХ МЕТОДІВ ТА НЕЙРОТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБНИЧОГО ПОТЕНЦІАЛУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ

**Анотація.** У статті розглянуто питання особливостей використання адаптивних методів та нейротехнологій для прогнозування стану виробничого потенціалу, моделювання ефективності управління сільськогосподарськими підприємствами.

**Ключові слова:** адаптивні методи, прогнозування, нейротехнології, моделювання, виробничий потенціал.

**Постановка проблеми.** Одними з найважливіших та складних для вирішення задач у будь-якій організації є питання прогнозування показників їх діяльності. Існує багато показників, які характеризують ефективність управління на підприємстві, зокрема природні фактори, фактори науково-технічного прогресу, рівень інтенсивності виробництва, спеціалізація виробництва; соціально-економічні фактори, забезпеченість робочою силою. Це вимагає врахування об'єктивних законів розвитку та попереднього досвіду під час прогнозування показників економічної діяльності сільськогосподарських підприємств в сучасних умовах, що потребує професійних знань щодо принципів і методологічних підходів до моделювання й прогнозування показників економічної ефективності підприємств.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми застосування адаптивних методів прогнозування показників діяльності сільськогосподарських підприємств присвячені публікації М.І. Ромашенко [2], П.П. Пастернака [6], Дж. Торнли [8], Р. Брауна [9] та інших авторів. А використанню методів на основі штучного інтелекту, що ґрунтуються на нейротехнологіях, приділяли увагу В.Г. Гумеров [1], К.А. Казак [3], М.Л. Кравченко [4], Ю.А. Кравченко [5], Д.В. Рутковська [7], Е. Мітчі [10] та інші науковці.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Незважаючи на те, що в загальному плані комплекс проблем прогнозування стану економічної ефективності сформульовано та досліджено досить повно, питання методики адаптивного прогнозування, які враховують галузеву специфіку сільськогосподарських підприємств, потребують подальшого розроблення.

**Мета статті.** Головна мета роботи полягає в удосконаленні методики використання адаптивних методів та нейротехнологій для прогнозування стану виробничого потенціалу сільськогосподарських підприємств.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Основним інструментом будь-якого прогнозу є схема екстраполяції. Розрізняють формальну і прогнозну екстраполяцію. Формальна базується на припущенні про збереження в майбутньому минулих тенденцій розвитку аграрного виробничого

об'єкта прогнозу. Прогнозна екстраполяція припускає гіпотетичну можливість зв'язку показників процесу виробництва в часі і просторі.

Завдання прогнозу полягає у визначенні виду екстраполюючих функцій  $T_t$ , сезонної та циклічної складової  $\epsilon_t$  на основі вихідних емпіричних даних  $Y_{t-n}$ . Загальна виробнича модель часового прогнозування ефективності агровиробництва має такий вигляд:

$$\hat{Y}_{t+p} = Y_{t-n} + T_{t-n} + S_{t-n} + C_{t-n} + \epsilon_{t-n}, \quad (1)$$

де  $Y_{t-n}$  – вплив вхідних даних передісторії часового формування агропроцесу (накопичений виробничий потенціал) на прогнозний період  $t+p$ ;  $T_{t-n}$  – відгук трендової складової;  $S_t$  – відгук сезонної складової;  $C_{t-n}$  – відгук циклічної складової;  $\epsilon_{t-n}$  – відгук імовірнісної стохастичної (нерегульована) компоненти агропроцесу на прогнозний період  $t+p$ .

Першим етапом екстраполяції тренда є вибір оптимального виду функції, яка описує емпіричний ряд. Для обрання і полегшення вибору тренду на підставі його згладжування проводиться попередня обробка вихідних даних. Наступним етапом є розрахунок параметрів обраної екстраполяційної функції. Найбільш ефективним в реальних умовах господарювання є використання для часового аналізу процесів аграрного виробництва адаптивних методів прогнозування.

Характерною рисою адаптивних методів прогнозування є їх здатність безперервно враховувати динамічні процеси економічних характеристик ефективності управління аграрним виробництвом, тобто адаптуватись до досліджуваних процесів (визначати правильну закономірність розвитку підприємства або галузі). В адаптивних моделях чим більшим є ваговий коефіцієнт, тим вищою є інформаційна цінність, яку мають наявні спостереження, що проводилися ближче до прогнозного моменту (періоду). Тим самим закономірності процесів, що сформувалися під дією внутрішніх та зовнішніх факторів, спричинятимуть найбільший вплив на достовірність прогнозованих результатів та ефективність розробки управлінських рішень в аграрному виробництві.

У математичному сенсі будь-який метод прогнозування за своєю суттю є адаптивним, тому що всі вони постійно враховують надходження нової виробничої інформації, зокрема спостереження, зроблені після останнього прогнозу. Досить ефективним і надійним методом адаптивного прогнозування показників ефективності аграрного виробництва є експоненціальне згладжування. Основні переваги методу полягають у можливості врахування вихідної інформації із відповідними ваговими коефіцієнтами, простоті обчислювальних операцій, гнучкості опису динаміки виробничих процесів. Метод експо-

ненціального згладжування дає можливість отримати оцінку параметрів тренда, що характеризують не середній рівень процесу, а тенденцію, яка сформувалась на момент останнього спостереження. Для методу експоненціального згладжування основним і найбільш складним етапом є вибір необхідних параметрів моделі: згладжування  $\alpha$ , початкові умови, ступінь прогнозованого полінома [13, с. 214, 523].

Метод експоненціального згладжування є узагальненням методу змінного середнього і дає змогу створити модель опису процесу агровиробництва, за якого більш пізнім спостереженням показників господарювання, що передують прогнозованому періоду, присвоюються більш високі вагові коефіцієнти порівняно із ранніми спостереженнями. Вагові коефіцієнти убувають по експоненті.

$$L_t^{[k]}(y) = \alpha \sum_{i=0}^n (1 + \alpha)^i L_{t-1}^{[k]}(y). \quad (2)$$

Вираз називається експоненціальною середньою  $k$ -го порядку для часового ряду  $y_t$ , де  $\alpha$  – параметр згладжування.

Рекурентна формула (однопараметричне експоненціальне згладжування – модель Брауна) для визначення експоненціального середнього значення показників ефективності управління аграрним виробництвом має такий вигляд:

$$L_t^{[k]}(y) = \alpha L_t^{[k-1]}(y) + (1 - \alpha)^i L_{t-1}^{[k]}(y). \quad (3)$$

Використання вищевказаного співвідношення припускає визначення початкових умов розвитку сільськогосподарського підприємства  $S_0^{[1]}, S_0^{[2]}, \dots, S_0^{[k]}$ . Для цього використовується формула Брауна-Мейєра, що зв'язує коефіцієнти прогнозного полінома з експоненціальними середніми відповідних порядків:

$$L_t^{[k]}(y) = \sum_{p=0}^n (-1)^p \frac{\hat{\alpha}_p}{p!} \frac{\alpha \beta}{(k-1)!} \sum_{j=0}^{\infty} j^p \beta^j \frac{(p-1+j)!}{j!}, \quad (4)$$

де  $p = 1, 2, \dots, n+1$ ;  $\hat{\alpha}_p$  – оцінки коефіцієнтів;  $p = 1 - \alpha$ . Можна отримати оцінки початкових умов, зокрема для лінійної моделі вона має такий вигляд:

$$\begin{aligned} L_0^{[1]} &= \alpha_0 - \frac{\beta}{\alpha} \alpha_1; \\ L_0^{[2]} &= \alpha_0 - \frac{2\beta}{\alpha} \alpha_1 \end{aligned} \quad (5)$$

для квадратичної моделі вона має такий вигляд:

$$\begin{aligned} L_0^{[1]} &= \alpha_0 - \frac{\beta}{\alpha} \alpha_1 + \frac{\beta(2-\alpha)}{2\alpha^2} \alpha_2; \\ L_0^{[2]} &= \alpha_0 - \frac{2\beta}{\alpha} \alpha_1 + \frac{\beta(3-2\alpha)}{2\alpha^2} \alpha_2; \\ L_0^{[3]} &= \alpha_0 - \frac{3\beta}{\alpha} \alpha_1 + \frac{\beta(4-3\alpha)}{2\alpha^2} \alpha_2 \end{aligned} \quad (6)$$

Знаючи початкові умови  $S_0[k]$  і значення параметра  $\alpha$ , можна визначити експоненціальні середні  $S_t[k]$ .

Оцінки коефіцієнтів прогнозного полінома визначаються через експоненціальні середні за фундаментальною теоремою Брауна-Мейєра. У цьому випадку самі коефіцієнти є рішенням системи  $(p+1)$  рівнянь з  $k(p+1)$  невідомими, що пов'язує параметри прогнозного полінома з вихідною інформацією про АВС. Так, для лінійної моделі отримаємо:

$$\begin{aligned} \hat{\alpha}_0 &= 2L_t^{[1]} - L_t^{[2]}, \\ \hat{\alpha}_1 &= \frac{\alpha}{\beta} (L_t^{[1]} - L_t^{[2]}); \end{aligned} \quad (7)$$

для квадратичної моделі отримаємо:

$$\begin{aligned} \hat{\alpha}_0 &= 3(L_t^{[1]} - L_t^{[2]}) + L_t^{[3]}; \\ \hat{\alpha}_1 &= \frac{\alpha}{\beta^2} [(6-5\alpha)L_t^{[1]} - 2(5-4\alpha)L_t^{[2]} + (4-3\alpha)L_t^{[3]}]; \\ \hat{\alpha}_2 &= \frac{\alpha^2}{\beta^2} [L_t^{[1]} - 2L_t^{[2]} + L_t^{[3]}] \end{aligned} \quad (8)$$

Прогноз реалізується за обраним багаточленом. Відповідно, для лінійної моделі  $\hat{y}_{t+\tau} = \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 \tau$ ; для квадратичної моделі  $\hat{y}_{t+\tau} = \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 \tau + \frac{\hat{\alpha}_2}{2} \tau^2$ , де  $\tau$  – період прогнозу.

Важливу роль у методі експоненціального згладжування відіграє вибір оптимального параметра згладжування  $\alpha$ , який визначає оцінку коефіцієнтів моделі та результати прогнозу ефективності управління сільськогосподарського підприємства. Залежно від величини параметра прогнози оцінки по-різному враховують вплив вихідного ряду спостережень агровиробничого процесу: чим більше  $\alpha$ , тим більше внесок останніх спостережень у формування трендової складової, а вплив початкових умов швидко зменшується. При малому  $\alpha$  прогнози оцінки враховують усі спостереження, при цьому зменшення впливу застарілої інформації відбувається повільно. Існують два основні співвідношення, що дають можливість знайти наближену оцінку  $\alpha$ . Перше співвідношення Брауна, виведене з умови рівності ковзної і експоненціальної середньої  $\alpha = \frac{2}{N+1}$ ,

де  $N$  – кількість дискретних значень спостережень часового ряду показників ефективності агровиробничої діяльності, для яких динаміка ряду вважається однорідною і стійкою (період згладжування). Другим є співвідношення Мейєра  $\alpha \approx \frac{\sigma_n}{\sigma_\varepsilon}$ , де  $\sigma_n$  – середньоквадратична похибка виробничої моделі;  $\sigma_\varepsilon$  – середньоквадратична похибка вихідного часового ряду спостережень за агровиробничим процесом.

Проте використання останнього співвідношення ускладнене тим, що достовірно визначити  $\sigma_n$  і  $\sigma_\varepsilon$  з вихідної інформації в реальних умовах аграрного виробництва дуже складно.

Вибір параметра  $\alpha$  безпосередньо пов'язаний із точністю прогнозу ефективності аграрного виробництва, тому для більш обґрунтованого вибору  $\alpha$  доцільно використовувати процедуру узагальненого згладжування, яка дає змогу отримати такі співвідношення, що пов'язують дисперсію прогнозу і параметр згладжування.

Для лінійної моделі:

$$\sigma_{\hat{y}_t}^2 = \frac{\alpha}{(1+\beta)^2} [1 + 4\beta + 2\beta^2 + 2\alpha(1+3\beta)\tau + 2\alpha^2\tau^3] \sigma_\varepsilon^2; \quad (9)$$

для квадратичної моделі:

$$\sigma_{\hat{y}_t}^2 \approx [2\alpha + 3\alpha^2 + 3\alpha^2\tau] \sigma_\varepsilon^2; \quad (10)$$

для узагальненої моделі аграрного виробництва такого вигляду:

$$y(t) = \sum_{i=1}^n \alpha_i f_i(t) + \varepsilon_t; \quad (11)$$

дисперсія прогнозу має такий вигляд:

$$\sigma_{\hat{y}_t}^2 = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n f_j(\tau) \text{cov}(\alpha_j, \alpha_k) f_k(\tau) = \vec{f}^T V f(\tau) \sigma_\varepsilon^2, \quad (12)$$

де  $\sigma_\varepsilon$  – середньоквадратична похибка апроксимації вихідного динамічного ряду;  $f_i(t)$  – деяка відома агровиробнича функція;  $V$  – матриця коваріації коефіцієнтів моделі.

Особливість вищенаведених формул полягає у тому, що при  $\alpha = 0$  вони обертаються в нуль. Це пояснюється таким положен-

ням: чим ближче до нуля  $\alpha$ , тим більше довжина вихідного ряду спостережень  $t \rightarrow \infty$ , відповідно, менше похибка прогнозу. Для її зменшення необхідно вибирати мінімальне значення  $\alpha$ . Водночас параметр  $\alpha$  визначає початкові умови агровиробничого процесу: чим менше  $\alpha$ , тим нижче точність визначення початкових умов, що призводить до погіршення якості прогнозу. Похибка прогнозу збільшується за ступенем зменшення точності визначення початкових умов. Таким чином, використання формул (8–11) своїм наслідком має виникнення протиріччя під час визначення параметра згладжування: із зменшенням  $\alpha$  зменшується середньоквадратична похибка, але при цьому зростає похибка в початкових умовах, що впливає на точність прогнозу. Крім того, використовуючи співвідношення (8–11), необхідно враховувати те, що ці вирази отримані для нескінченно довгих рядів без урахування автокореляції спостережень. На практиці маємо справу з кінцевими рядами, що характеризуються внутрішньою залежністю між вихідними спостереженнями. У ряді випадків параметр  $\alpha$  вибирається таким чином, щоб мінімізувати похибку прогнозу, що розрахований за ретроспективний період. Більш важливим для практичного використання у реальних умовах агровиробництва є питання вибору порядку прогнозного полінома, що визначає якість прогнозу. Таким чином, можна зробити висновок, що метод однопараметричного експоненціального згладжування (модель Брауна) доцільно використовувати для короткострокового прогнозування агровиробничих процесів за умови відсутності трендової складової.

Метод Хольта (використовується для прогнозування часових рядів, коли є тенденція зростання або зниження значень часового ряду) має два параметри:  $\alpha$  та  $\beta$  ( $0 < \alpha, \beta < 1$ ). У його моделі прогноз на  $l$  такт визначається з урахуванням трендової складової і має такий вигляд:

$$\begin{cases} L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)L_{t-1} \\ T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \\ \hat{Y}_{t+p} = L_t + pT_t \end{cases} \quad (13)$$

Метод Хольта використовується для коротко- та середньострокового прогнозування за умови наявності трендової складової та варіації досліджуваного динамічного ряду агровиробничого процесу не більше 10–15%. Метод Хольта-Уінтерса (метод трьохпараметричного експоненціального згладжування) є удосконаленим методом Хольта, який враховує сезонну складову ( $S_t$ ):

$$\begin{cases} L_t = \frac{\alpha Y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \\ T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \\ S_t = \gamma \frac{Y_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s} \\ \hat{Y}_{t+p} = (L_t + pT_t)S_{t-s+p} \end{cases} \quad (14)$$

Дріб у першому рівнянні слугує для виключення сезонності з  $Y_t$ . Метод Хольта-Уінтерса використовується для коротко- та середньострокового прогнозування за умови наявності у часових рядах агровиробничого процесу добре вираженої сезонної складової. Метод експоненціального згладжування є одним із найбільш надійних і широко застосовуваних у практиці прогнозування, який доцільно також використовувати для дослідження динамічних часових процесів ефективності аграрного виробництва.

Управління аграрним виробництвом є складним, нелінійним багатофакторним процесом, для розроблення і моделю-

вання якого необхідно використовувати сучасні інструменти та потужні нелінійні багатомірні методи на основі штучного інтелекту, що ґрунтуються на нейротехнологіях. Створені нелінійні системи та моделі повинні забезпечувати високу достовірність апроксимації надскладних процесів у просторі та часі.

Нейромодель функції ефективності управління аграрним виробництвом (MEAP) можна подати у такому вигляді:

$$MEAP =$$

$$NM[f(E), f(STP), f(IL), f(OM), f(S), f(P), f(SE), f(WF)], \quad (15)$$

де  $E$  – природні фактори (наприклад, якість землі);  $STP$  – фактори науково-технічного прогресу, що включають агрономічні, зоотехнічні, селекційно-генетичні умови, технічну оснащеність і технологію виробництва;  $IL$  – рівень інтенсивності виробництва, від якого залежать врожайність сільськогосподарських культур і продуктивність тварин;  $OM$  – організація та управління агровиробництвом;  $S$  – структурні фактори, зумовлені спеціалізацією виробництва;  $P$  – фактори, що характеризують умови реалізації продукції (ціни) та умови виробничого обслуговування. Оскільки реалізаційна ціна залежить і від якості продукції, тобто від підсумку діяльності господарств, ціна певною мірою є і внутрішнім фактором;  $SE$  – соціально-економічні фактори (оплата праці, умови праці та побуту);  $WF$  – забезпеченість робочою силою, рівень її кваліфікації.

На рис. 1 представлена універсальна схема нейромережі для нелінійного ситуаційного моделювання ефективності аграрного виробництва за різними групами функціонування сільськогосподарських підприємств.

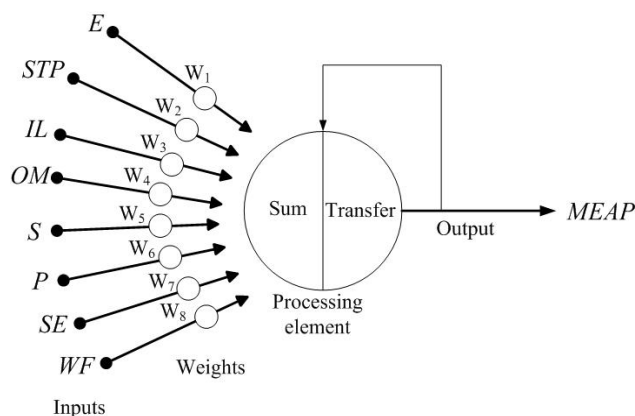


Рис. 1. Схема функціонування нейромережі для моделювання ефективності управління аграрним виробництвом

Джерело: авторська розробка

Функція нейронної мережі ефективності управління аграрним виробництвом (16) має такий вигляд:

$$y_i(t) = f\left(\sum_{m=1}^M w_m^{(8)}(t) f\left(\sum_{j=1}^J w_j^{(7)}(t) f\left(\sum_{k=1}^K w_k^{(6)}(t) f\left(\sum_{z=1}^Z w_z^{(5)}(t) f\left(\sum_{l=1}^L w_l^{(4)}(t) f\left(\sum_{r=1}^R w_r^{(3)}(t) f\left(\sum_{g=1}^G w_g^{(2)}(t) f\left(\sum_{n=1}^N w_n^1(t) x_n^{(1)}(t)\right)\right)\right)\right)\right)\right)$$

Функція корекції вагових коефіцієнтів НМ (17) має такий вигляд:

$$E(w(t)) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^I \left( f\left(\sum_{m=1}^M w_m^{(8)}(t) f\left(\sum_{j=1}^J w_j^{(7)}(t) f\left(\sum_{k=1}^K w_k^{(6)}(t) f\left(\sum_{z=1}^Z w_z^{(5)}(t) f\left(\sum_{l=1}^L w_l^{(4)}(t) f\left(\sum_{r=1}^R w_r^{(3)}(t) f\left(\sum_{g=1}^G w_g^{(2)}(t) f\left(\sum_{n=1}^N w_n^1(t) x_n^{(1)}(t)\right)\right)\right)\right)\right)\right) - d_i^{(i)} \right)^2,$$

де  $t$  – дискретне значення ряду;  $w$  – матриця вагових коефіцієнтів;  $y_n^{(i)}$  –  $n$ -а координата вхідного вектору в певний момент часу  $t$ ;  $y_i(t)$  –  $i$ -та координата вихідного вектору, створена нейромережею в певний момент часу  $t$ ;  $d_i^{(i)}$  –  $i$ -та координата фактичного вихідного вектору в певний момент часу  $t$ ;  $f(s_i)$  – функції активації нейронів прихованих і вихідного шарів.

**Висновки.** Обґрунтовані теоретико-методологічні підходи до використання адаптивних методів і нейротехнологій забезпечують можливість створення надійних і високоточних моделей для дослідження динаміки та прогнозування ймовірності змін ефективності виробничого потенціалу сільськогосподарських підприємств з метою подальших розробок заходів щодо раціонального управління агровиробництвом та забезпечення конкурентних переваг суб'єктів аграрного сектору країни.

#### Література:

1. Гумеров В.Г. Нейросетевой подход к моделированию сложных систем / В.Г. Гумеров // Новые технологии. – 2007. – № 3. – С. 128–130.
2. Інформаційне забезпечення зрошувального землеробства. Концепція, структура, методологія організації / [М.І. Ромашенко, Е.С. Драчинська, А.М. Шевченко]. – К. : Аграрна наука, 2005. – 196 с.
3. Нейросетевое прогнозирование параметров ГТС / [К.А. Казак, В.В. Кнотко, Н.А. Кисленко, А.С. Казак] // Системы управления и информационные технологии. – 2008. – № 1 (31). – С. 56–60.
4. Кравченко М.Л. Моделирование экономических систем с применением нейронных сетей / М.Л. Кравченко, Т.И. Грекова // Вестник Томского государственного университета. – 2006. – № 290. – С. 169–172.
5. Кравченко Ю.А. Построение прогнозных моделей динамических систем на основе интеграции нейронных сетей и генетических алгоритмов / Ю.А. Кравченко // Известия Таганрогского государственного радиотехнического университета. – 2006. – Т. 64. – № 9–1. – С. 103–104.
6. Пастернак П.П. Системное моделирование экономических процессов в АПК / П.П. Пастернак. – М. : Агропромиздат, 1985. – 176 с.
7. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / [Д.В. Рутковская, М.А. Пилинский, Л.Г. Рутковский]. – М. : Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.
8. Франс Дж. Математические модели в сельском хозяйстве / Дж. Франс, Дж.Х.М. Торнли – М. : Агропромиздат, 1987. – 400 с.
9. Brown R.G. Economic Order Quantities for Materials Subject to Engineering Changes / R.G. Brown // Production and Inventory Management, 12. – № 2. – P. 89–91 (1971).
10. Mitchie E.D. Machine Learning, Neural and Statistical Classification / E.D. Mitchie et al. – Ellis Horwood, Chichester, UK, 1994. – 304 p.

#### **Соловьёв А.И. Теоретико-методологические особенности применения адаптивных методов и нейротехнологий для прогнозирования производственного потенциала сельскохозяйственных предприятий**

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы особенностей использования адаптивных методов и нейротехнологий для прогнозирования состояния производственного потенциала, моделирования эффективности управления сельскохозяйственными предприятиями.

**Ключевые слова:** адаптивные методы, прогнозирование, нейротехнологии, моделирование, производственный потенциал.

#### **Soloviov A.I. Theoretical and practical features of using adaptive methods and neurotechnologies for the forecasting of production potential of agricultural enterprises**

**Summary.** The article considers questions of features of the use of adaptive methods and neurotechnologies for the forecasting of production capacity, modelling of management efficiency of agricultural enterprises.

**Keywords:** adaptive methods, forecasting, neurotechnologies, modelling, production capacity.